

REVISTA DE GEOGRAFÍA AGRÍCOLA

ISSNe: 2448-7368

estudios regionales de la agricultura mexicana



Número 74, enero-diciembre 2025.

REVISTA DE GEOGRAFÍA AGRÍCOLA

estudios regionales de la agricultura mexicana

74 enero-diciembre 2025

Universidad Autónoma Chapingo
Dirección General de Investigación y Posgrado
Coordinación de Revistas Institucionales
México, 2025

Revista de Geografía Agrícola, número 74, enero-diciembre 2025, es una revista anual de publicación continua editada por la Universidad Autónoma Chapingo, a través de la Coordinación de Revistas Institucionales de la Dirección General de Investigación, Posgrado y Servicio. Oficina 114, edificio Dr. Efraím Hernández X., carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230, Tel. +52 (595) 952 1569 y +52 (55) 5133 1108, ext. 1569, <https://revistas.chapingo.mx/geografia/>, rev_geoagricola@hotmail.com. Editor responsable: Dr. Artemio Cruz León.

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2015-121713113900-102, e-ISSN: 2448-7368, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsable de la última actualización de este número: Coordinación de Revistas Institucionales de la Universidad Autónoma Chapingo, Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez, Oficina 114, edificio Dr. Efraím Hernández X., carretera México- Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México, fecha de la última modificación, 25 de noviembre de 2025.

Comité editorial

Dr. Artemio Cruz León
Editor General
Lic. Juan Pablo de Pina García (†)
Dr. Atenógenes Licona Vargas
Ing. Fausto Inzunza Mascareño

Comité Editorial Fundador

Jorge Duch Gary (†)
Pablo Muench Navarro
Juan Pablo De Pina García (†)
Norma Torres Mejía

Comité Asesor Internacional

Dr. Jorge León
*Ex profesor investigador del CATIE.
Costa Rica*

Dr. Claude Bataillon
*Profesor de la Universidad de Toulouse le
Mirail. Francia*

Dr. Fidel Márquez Sánchez (†)
*Profesor Investigador de la Universidad
Autónoma Chapingo*

Dr. Rogelio Aguirre Rivera
*Director del Instituto de Investigaciones en
Zonas Desérticas, Universidad Autónoma
de San Luis Potosí*

Dra. Luisa Paré
*Investigadora del Instituto de
Investigaciones Sociales de la Universidad
Nacional Autónoma de México*

Dr. Manuel R. Parra Vázquez
*Investigador de El Colegio de la Frontera
Sur. San Cristóbal de Las Casas, Chis.*

Dr. Carlos Ortiz Solorio
*Profesor Investigador del Colegio
de Postgraduados*

Corrección de estilo

Aurora González Calderón

Asistente editorial

Teresa Rivero Belmonte

Diseño

Carlos de la Cruz Ramírez
Rogelio Cruz

Traducción:

Sacnite Yeyetzi López Gonzaga
Verónica Nava castillo
Valentín Rendón Alvarado

La *Revista de Geografía Agrícola* está
incluida en los siguientes índices:

CONAHCYT / CABI / Latindex /
Biblat / Redib / Dialnet / LatinRev /
MIAR / Aura / Dimensions /
Scilit / BAC

Núm. 74, enero-diciembre 2025

Modelo de eficacia para el clúster ovino de los estados de Veracruz e Hidalgo

Fernando Gonzalez Sosa, Julia Aurora Montano Rivas, Edgar Williams García Sosa
<https://doi.org/10.5154/r.rga.2022.74.1>

Competitividad internacional de la soya: un estudio comparativo de Estados Unidos, Brasil y Argentina

Luis Javier Legarreta-Sosa, Francisco García-Fernández, Martín Alfredo Legarreta-González
<https://doi.org/10.5154/r.rga.2024.74.2>

Reconfiguración territorial y dinámicas de rururbanización en los entornos rurales de la Ciudad de Durango, México

Carlos Alejandro Custodio González, Tania Margarita Ortiz Salazar, Cinthia Ruiz López, Justino Gerardo González Díaz
<https://doi.org/10.5154/r.rga.2024.74.3>

Sector lechero de Baja California: gestión gubernamental y relación productores-industriales

Jose Zavala Alvarez, Jorge Alejandro Martínez Partida, Gloria Muñoz del Real, Carlos Federico Rosales Guerrero
<https://doi.org/10.5154/r.rga.2024.74.4>

Factores que intervienen en la adopción de los sistemas silvopastoriles en el estado de Yucatán, México

Anahy Guadalupe Romero Mena, Wilian Aguilar Cordero, Javier Solorio Sánchez, Luis Ramírez Avilés
<https://doi.org/10.5154/r.rga.2024.74.5>

Transformación del uso de la tierra y fragmentación en la reserva de la biósfera Los Tuxtlas

Adriana Paredes Gonzalez, Luz Judith Rodríguez Esparza, Valentín José Reyes Hernández, Patricia Hernández-de la Rosa, Alejandro Velázquez Martínez, Luis Antonio Tarango-Arámula
<https://doi.org/10.5154/r.rga.2024.74.6>

Perfil emprendedor de los productores de agricultura protegida en el municipio de Tecozautla, Hidalgo, México

Antonio Aguilar-López, Blanca Yazmín Lisbeth Hernández-Jasso, Ana Isabel Ramírez-Sabino
<https://doi.org/10.5154/r.rga.2024.74.7>

Perspectiva crítica sobre planes de reforestación para la soberanía hídrica de los territorios hidrosociales en contextos agroproductivos

Jeison Javier Loaiza-González, Humberto Thomé Ortiz
<https://doi.org/10.5154/r.rga.2023.73.08>

Producción excepcional de maíz en humedal: la milpa marceña de Tabasco, México

Juan Rogelio Aguirre Rivera, Angel Isauro Ortiz-Ceballos
<https://doi.org/10.5154/r.rga.2023.74.9>

Caracterización agroecológica del agroecosistema café en La Revolución, Tila, Chiapas, México

Carlos Hernández-Gómez, Diego Flores Sánchez, Hermilo Navarro-Garza, Etztil Itzel Morales-Reyes, Ulrick Vicent-Fequiere
<https://doi.org/10.5154/r.rga.2024.74.10>

Crisis neoliberal y expansión regional agroexportadora de frutillas michoacanas

José Christian Hernández Robledo, César Adrián Ramírez Miranda
<https://doi.org/10.5154/r.rga.2024.74.11>

Descripción y percepción de la producción tradicional de carbón vegetal en la sierra de Zongolica, Veracruz, México: Un estudio cualitativo

Miguel Ángel Vega Ortega, Gregorio Hernández Salinas, Sergio Ignacio Gallardo Yobal, Claudia Ivett Contreras Hernández
<https://doi.org/10.5154/r.rga.2024.74.12>

Importancia de la producción piscícola ornamental como estrategia de vida de las familias de Tlaltizapán de Zapata y Zacatepec, Morelos, México

Erika Román Montes de Oca, Diana Milena Cortés Gil, Alejandro García Flores, Jesús Eduardo Licea Resendiz, María Inés Ayala Enriquez, Araceli Tegoma Coloreano

<https://doi.org/10.5154/r.rga.2024.74.13>

Flores comestibles en temporada de cuaresma en el mercado de Tulancingo, Hidalgo, México

Francisco Alberto Basurto Peña, Myrna Mendoza Cruz

<https://doi.org/10.5154/r.rga.2024.74.14>

Los parques agrarios como figura territorial en los sistemas agroalimentarios urbanos. El caso de la ciudad-región de Madrid

Héctor Ávila Sánchez

<https://doi.org/10.5154/r.rga.2023.74.15>

Elementos potencialmente tóxicos en agroecosistemas de maíz de España, Tlaxcala

Itzel Ángeles Hernández González, Atenógenes Leobardo Licona-Vargas, Claudia Fernández González, María Virginia González Santiago

<https://doi.org/10.5154/r.rga.2024.74.16>

Evaluación geoespacial de las condiciones óptimas para el establecimiento de nopal tunero (*Opuntia spp.*) en el Altiplano Potosino

Enrique Ibarra Zapata, Juan José Silva Gallegos, José de Jesús Hernández Ramos

<https://doi.org/10.5154/r.rga.2024.74.17>

Zonas potenciales para la producción de chile Jalapeño en Quintana Roo, México

Claudia Tania Lomas Barrié, Emiliano Loeza Kuk, Rubén Darío Góngora Pérez

<https://doi.org/10.5154/r.rga.2024.74.18>

Validación de un plan de Manejo Agronómico Integral Sostenible (MAIS) para mejorar la productividad del naranjo en regiones afectadas por Huanglongbing (HLB)

Karla Mariany Hernández-Muñoz, Gustavo Almaguer Vargas, Humberto Arenas Reyes

<https://doi.org/10.5154/r.rga.2025.74.19>

El diálogo de saberes en las Escuelas Campesinas: aprendizajes colectivos y construcción territorial del conocimiento

Adrián Lozano Toledano, Artemio Cruz León, Bernardino Mata García, Lucio Noriero Escalante

<https://doi.org/10.5154/r.rga.2025.74.20>

Lista de árbitros

Revista de Geografía Agrícola 74, 2025

Nombre	Afilación
Verónica Cerroblanco Vázquez	Universidad Autónoma de Querétaro
Marjorie Calderón Zamora	Universidad Laica Eloy Alfaro de Malabí, Ecuador
Lila Margarita Bada Carbajal	Tecnológico Nacional de México
María Ana Portal Ariosa	Universidad Autónoma Metropolitana
Noé Aguilar Rivera	Universidad Veracruzana
Guadalupe Montaña López	Universidad Nacional Autónoma de México
Jorge Alberto López Arévalo	Universidad Autónoma de Chiapas
Guillermo E. Guevara Viera	Uniersidad de Cuenca, Ecuador
Ma. Guadalupe Martínez Alba	Universidad Autónoma del Estado de México
Anibal Terrones Cordero	Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Caludia Tania Lomas Barrié	INIFAP
Raúl Perezgrovas Garza	Universidad Autónoma de Chiapas
Citlalli López Binnqüist	Universidad Veracruzana
Antonio Aguilar López	Instituto Tecnológico Superior de Huichapan
Porfirio Juárez López	Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Guadalupe G. Elizalde López	Universidad Autónoma Chapingo
Primo Sánchez Morales	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Francisco M. Durazo Gálvez	Universidad de Sonora
Victoria Pacheco Almaraz	Universidad Autónoma Chapingo
Ma. Guadalupe Díaz Santos	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Melissa Reyes Carcaño	Universidad Mexiquense del Bicentenario
Enrique de Jesús Trejo Sánchez	El Colegio de la Frontera Sur
Esteban Escamilla Prado	Universidad Autónoma Chapingo
José Luis Jaramillo Villanueva	Colegio de Postgraduados
Pedro Damián Loeza Lara	Universidad de La Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo
Sergio Moctezuma Pérez	Universidad Autónoma del Estado de México
Alejandro Casas Fernández	Universidad Nacional Autónoma de México
Oscar Omar Álvarez Rivera	Universidad Autónoma de Yucatán
Metodio Nicolás Vite García	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
José Christian Hernández Robledo	Universidad Autónoma Chapingo
José Regalado López	Colegio de Postgraduados
Alma Amalia González Cabañas	Universidad Nacional Autónoma de México
Ma. Guadalupe Gutiérrez Carbajal	Instituto Tecnológico de Conkal
Laura Gómez Tovar	Universidad Autónoma Chapingo
Oscar Reyes Cárdenas	Universidad Autónoma de San Luis Potosí
José Ariel Ruiz Corral	Universidad de Guadalajara
Carlos Alejandro Pérez García	University of Bologna, Italia



Effectiveness model for the sheep cluster of the states of Veracruz and Hidalgo

Fernando González Sosa^{1*}
Julia Aurora Montano Rivas²
Edgar Williams García Sosa³

Abstract

The profitability of livestock herds is linked to the achievement of the business objectives set by the efficiency factor. The constant loss of social capital and inefficient strategies among stake holders affect economic relationships, modify the market and impede economic growth. The objective of this article is to propose a model based on an exploratory factor analysis that allows relating the constructs that identify the sheep cluster in the States of Veracruz and Hidalgo. The quantitative methods combined Cronbach's alpha coefficient, the location index and Herfindahl-Hirschman index, classical canonical correlations and the construction of a structural measurement model by means of exploratory factor analysis (known in Spanish as AFE) and confirmatory factor analysis (AFC by its Spanish acronym). The generation of constructs allowed determining that the Social Capital, Collective Efficiency, Cluster Policy and Operational Efficiency factors are part of the analysis done for the sheep cluster. The model confirmed that the determinants of efficiency in a livestock cluster are cooperation, the increment of social capital and political strategies for competitiveness.

Keywords: Sheep cluster, collective efficiency, livestock PYMES, confirmatory factor analysis, canonical correlation.

Modelo de eficacia para el clúster ovino de los estados de Veracruz e Hidalgo

Resumen

La rentabilidad de los hatos pecuarios está vinculada cuando se logran conseguir los objetivos empresariales marcados por el factor eficacia. La pérdida constante de capital social y estrategias ineficientes entre actores, afectan las relaciones económicas, modifican el mercado e impiden el crecimiento económico. El objetivo de este artículo es proponer un modelo basado en un análisis factorial exploratorio que permita relacionar los constructos que identifican al clúster ovino de los Estados de Veracruz e Hidalgo. Los métodos cuantitativos, combinaron el coeficiente alfa de Cronbach, el índice de localización e índice Herfindahl-Hirschman, correlaciones canónicas clásicas y la construcción de un modelo de medición estructural mediante análisis factorial exploratorio (AFE) y confirmatorio (AFC). La generación de constructos permitió determinar que los factores Capital Social, Eficiencia Colectiva, Política del Clúster y Eficiencia Operacional son parte del análisis hecho para el clúster ovino. El modelo reafirmó que los determinantes causantes de la eficacia en un clúster pecuario son la cooperación, el aumento del capital social y las estrategias políticas para la competitividad.

Palabras clave: Clúster ovino, eficiencia colectiva, PYMES pecuarias, análisis factorial confirmatorio, correlaciones canónicas.

¹Universidad Anáhuac Veracruz, Constitución núm. 4, colonia Chiltoyac, municipio de Xalapa, Veracruz. México.

²Universidad Veracruzana, Facultad de Estadística e Informática, UV, Independencia núm. 79, La Estanzuela, Ver. México.

³Instituto Tecnológico de Monterrey, Vía Torrijos núm. 2940, colonia Mas Palomas, Monterrey, N. L., México.

*Corresponding autor: ovinosdonpancho@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-3394-2577

Introduction

The development of production processes within business organizations can create synergies which demand needs and new business models. These synergies can improve environmental impacts by taking advantage of secondary waste from some partner and interacting and communicating with the local population or authorities Iraldo & Daddi (2016). Within clusters, different types of agglomeration economies have been identified and then constituted as regional clusters resulting in innovation on buyer-seller links on labor occupation and knowledge-based ones. Delgado et al. (2014).

Cluster is associated with increased competitiveness, innovativeness in different regions through positive externalities such as low transportation costs, technological and knowledge spillovers, and an infrastructure that attracts specialized suppliers and highly skilled employees Annoni et al. (2017); Zeibote & Muravska, (2018). Externalities can be achieved by geographic proximity, innovation and production are expected to be locatable in regional clusters of related industries, a strong regional cluster can ease the growth of start-ups by facilitating access to the necessary inputs to commercialize products and services Delgado et al. (2014).

The need for the evolution of the paradigm of the Mexican countryside entails knowing, analyzing and understanding the relevant differences in the determinants that operate in a cluster.

For the field paradigm to evolve, it is essential to know, understand and analyze whether there are significant differences in the variables that operate and make up the associativity models called "clusters".

In a study done in ten Latin American countries, Mexico was identified with 60% the problem about the individualism, distrust and lack of association of growers that represents the main problem, recognized as the extension and development of farmers Landini (2016). There is an engrained business culture of non-cooperation according to the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2013), for the cluster, the structural problem of productive scale of the small grower is to be eliminated via associativity, generating agglomeration economies, integrating support instruments and incentives along the value chain from inputs to marketing,

Introducción

El desarrollo de los procesos de producción dentro de las organizaciones empresariales puede crear sinergias que demandan necesidades y nuevos modelos de negocio. Estas sinergias pueden mejorar los impactos ambientales al aprovechar los residuos secundarios de algún socio e interactuar y comunicarse con la población local o autoridades Iraldo & Daddi (2016). Dentro de los clústeres se han identificado diferentes tipos de economías de aglomeración que luego se han constituido como clústeres regionales resultando en innovación sobre vínculos entre compradores y vendedores, vínculos sobre la ocupación del trabajo y vínculos basados en el conocimiento Delgado et al. (2014).

El clúster tiene asociado el aumento de la competitividad, la capacidad de innovación en regiones distintas mediante externalidades positivas como bajos costos de transportación, spillovers tecnológicos y de conocimiento, y una infraestructura que atrae proveedores especializados y empleados altamente hábiles Annoni et al. (2017); Zeibote & Muravska, (2018). Las externalidades pueden ser logradas por la proximidad geográfica, se espera que la innovación y la producción sea localizable en clústeres regionales de industrias relacionadas, un clúster regional fuerte puede facilitar el crecimiento de start-ups facilitando el acceso a los insumos necesarios para comercializar productos y servicios Delgado et al. (2014).

La necesidad de la evolución del paradigma del campo mexicano conlleva conocer, analizar y entender las diferencias significativas en los determinantes que funcionan en un clúster.

Para que el paradigma del campo evolucione, se hace indispensable conocer, entender y analizar si existen diferencias significativas en las variables que operan y conforman los modelos de asociatividad llamados "clúster".

En un estudio hecho en diez países latinoamericanos, en México se identificó con un 60 % el problema sobre el individualismo, la desconfianza y la falta de asociación de productores que representa el principal problema, reconocido como la extensión y desarrollo de agricultores Landini (2016). Existe una arraigada cultura empresarial de no cooperación según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013), para el

to democratize productivity Dussel-Peters (2018).

The analysis of efficiency is not only at the small grower level, but also involves associations that are included due to their concentration, location and geographic proximity, in order to present an investigation that allows for the efficiency of the limited organization of growers Azis (2022). PYMES have flexible structures, which are recognized as their main competitive advantages Terziovski (2010).

There is a particular interest in revealing the determinants of the cluster from different approaches: Effectiveness (Mueller & Jungwirth, 2016); Policy, Duranton et al. (2010); Value Chains, Padilla-Perez (2017). The theory arising from Turrini et al. (2010) was used as a conceptual framework to define the context, structure and characteristics that may influence effectiveness; however, from the point of view of these authors, the development is holistic to determine effectiveness as an analysis that provides premises for the cluster's ability to achieve its business objectives, not only at the level of small grower, but also at the level of its environment within an ecosystem.

Social Capital is commonly associated with cooperative relationships between entrepreneurs such as mutual trust, increases the efficiency of clusters, or small enterprises in general (Rese & Baier, 2011). This term is also related within a fragmented society with high disparities in economic welfare, it affects economic output where trust and civic norms lower transportation costs and disseminate knowledge and, therefore, helps to solve coordination issues, duplication of efforts and contractual disputes (Doh & McNeely, 2012). Therefore, social capital is a determinant of efficiency gains. There are empirical studies of how binding social capital affects economic development within low development areas İzmen (2014).

The functioning of the cluster is analyzed from the perspective of the determinants of effectiveness in a network. The contextual characteristics of a cluster are those that allow achieving the business objective to increase its profitability, through two factors, the generosity of resources and cohesion to the community, these are aided by the absorptive path, which is understood as the ability of companies and research organizations to understand the difference and compatibility in business models, market segments and technological experience. Thus, the history of firms

clúster, el problema estructural de escala productiva del pequeño productor es que se elimine vía asociatividad, generando economías de aglomeración, integrando los instrumentos e incentivos de apoyo a lo largo de la cadena de valor desde los insumos hasta la comercialización, para democratizar la productividad Dussel-Peters (2018).

El análisis de la eficacia no solo es a nivel pequeño productor, también están involucradas las asociaciones que por concentración, localización y proximidad geográfica son incluidas, esto es presentar una investigación que permita eficientizar la escasa organización de productores Azis (2022). Las PYMES tienen estructuras flexibles, las cuales se reconocen como las principales ventajas competitivas de ellas Terziovski (2010).

Existe un particular interés por develar los determinantes del clúster desde diferentes enfoques: Eficacia (Mueller & Jungwirth, 2016); Política, Duranton et al. (2010); Cadenas de Valor, Padilla-Pérez (2017). La teoría derivada de Turrini et al. (2010) fue utilizada como marco conceptual para definir el contexto, la estructura y las características que puedan influir en la eficacia; sin embargo, desde el punto de vista de estos autores, el desarrollo es holístico para determinar la efectividad como un análisis que ofrece premisas para la capacidad del clúster para alcanzar sus objetivos empresariales, no solo a nivel de pequeño productor, también a nivel de su medio ambiente dentro de un ecosistema.

El capital social esta comúnmente asociado a las relaciones de cooperación entre empresarios como la mutua confianza, incrementa la eficiencia de los clústeres, o de las pequeñas empresas en general (Rese & Baier, 2011). Este término también se relaciona dentro de una sociedad fragmentada con altas disparidades en el bienestar económico, este afecta la salida económica en donde la confianza y las normas cívicas reducen los costos de transporte y diseminan el conocimiento y, por lo tanto, ayuda a resolver los problemas de coordinación, duplicación de esfuerzos y disputas contractuales (Doh & McNeely, 2012). Por lo tanto, el capital social es un determinante para el aumento de la eficacia. Existen estudios empíricos de cómo el capital social vinculante afecta el desarrollo económico dentro de áreas de bajo desarrollo İzmen (2014).

having strong social capital increases the likelihood that in the future they will increase their inter-firm cooperation and develop greater absorptive capacity (Dobusch & Schussler, 2013). These contextual characteristics positively influence the cluster through Social Capital and Collective Efficiency.

Structural characteristics include external control where mechanisms moderate the impact of the structure of a network and directly influence the welfare of the community, integration mechanisms are a determinant that defines multilateral interactions, the coexistence of different ways of integration, these mechanisms are described as common information and communication systems; other components are the size and composition of the network, formalization and accountability are concepts inherent to the design of a cluster policy, which is created by formal rules and serves to make decisions. Elements such as trust, reciprocity and cooperation norms are considered as determinants in increasing the links between nodes of a network, which consequently ensures internal stability and success Turrini et al. (2010).

Clusters are complex adaptive systems that show a type of reflexive emergence in which stakeholders respond to the ecosystem as a whole, and how it influences them individually (Martin & Sunley, 2011). Structural characteristics allow the cluster to form a set of rules and policies that allow it to consolidate, regulating processes and relationships to determine its strength and quality, in a way that is reflected in its performance Eisengerich et al. (2012). In future studies, there are three areas of opportunity related to the existing literature on the subject: sustainability of the cluster, ability to achieve its objectives, and innovation and change in the cluster.

There is a potential strength in increasing sheep production that is diminished by the lack of knowledge and application of the determinants that make associations more efficient. In Mexico there are more than 460 state committees, both agricultural, livestock, aquaculture and fisheries, and 61 national, in the country there are three unions and 64 specialized associations of sheep farmers, grouped in the Asociación Mexicana de Criadores de Ovinos, A.C. (AMCO), which in turn is part of the Confederación Nacional de Organizaciones Ganaderas (CNOG) as well as the Secretaría de Agricultura, Ganadería, De-

El funcionamiento del clúster se analiza desde la perspectiva de los determinantes de la eficacia en una red. Las características contextuales de un clúster son las que permiten lograr el objetivo empresarial para aumentar su rentabilidad, a través de dos factores, la generosidad de los recursos y la cohesión a la comunidad, estas son ayudadas por la ruta absorptiva, la cual se entiende como la capacidad de las empresas y organizaciones de investigación para entender la diferencia y compatibilidad en los modelos de negocio, nichos de mercado y experiencia tecnológica. De esta manera, la historia de que las empresas tengan un fuerte capital social aumenta la probabilidad de que en el futuro aumenten su cooperación entre empresas y desarrollen una mayor capacidad absorptiva (Dobusch & Schussler, 2013). Estas características contextuales, influyen de manera positiva al clúster a través del Capital Social y la Eficiencia Colectiva.

Las características estructurales incluyen el control externo donde existen mecanismos que moderan el impacto de la estructura de una red y esta influye directamente en el bienestar de la comunidad, los mecanismos de integración son una determinante que define interacciones multilaterales, la coexistencia de diferentes formas de integración, estos mecanismos se describen como información común y sistemas de comunicación; otros componentes son el tamaño y la composición de la red, la formalización y contabilidad son conceptos inherentes al diseño de una política en un clúster, la cual se crea mediante reglas formales y sirve para tomar decisiones. Elementos tales como la confianza, reciprocidad y normas de cooperación son consideradas como determinantes en el aumento de los vínculos entre nodos de una red, esto consecuentemente asegura la estabilidad interna y el éxito Turrini et al. (2010). Los clústers son sistemas adaptativos complejos que muestran un tipo de emergencia reflexiva en la cual los actores responden al ecosistema como un todo, y cómo influye en ellos de manera individual (Martin & Sunley, 2011). Las características estructurales permiten que el clúster forme una serie de reglas y políticas que le permiten consolidarse, regulando los procesos y relaciones para determinar su fuerza y calidad, de forma tal que se refleje en su rendimiento Eisengerich et al. (2012). En futuros estudios se abren

sarrollo Rural, Pesca (SAGARPA, 2016). The historical behavior of sheep meat production has presented an upward trend, having started to grow at discrete positive average rates of 3.6 %, for the period from 1997 to 2017, the States of Hidalgo and Veracruz represent the second and third place respectively in national production, the first place being the Estado de México, Agroalimentary Information and Consultation Service (for its acronym in Spanish [SIACON, 2020]).

Sheep farming has ceased to be a backyard activity in transition to a profitable activity, where mechanisms have been designed to stimulate production, to promote marketing alternatives and to ensure the profitability of small business units. The State of Veracruz achieved a production in 2019 of 5 425 t of meat, where the land use is cultivated pasture with more than 30 thousand km², the State of Hidalgo achieved a production of 6 767 t of meat with land use of rain-fed agriculture for 6 930 km². This situation allows Veracruz to allocate 3.6 million hectares to livestock and Hidalgo to allocate 815 thousand hectares for livestock activities; taking into account the behavior of sheep meat imports in the last seventeen years (2003-2020) statistically showed a discrete decreasing rate of 4.65 %, on food and agriculture, FAOSTAT (2020); becoming an area of opportunity for the commercial opening of this product and the entrepreneurial development of small livestock growers.

It is worth highlighting that this study, as a sample, includes sheep farmers' associations in the states of Veracruz and Hidalgo, where there is no previous research showing the importance of the factors that were analyzed, and the information gathered allows testing the central hypothesis, which is that social capital, collective efficiency, cluster policy and operational efficiency determine the effectiveness at the cluster level within the sheep subsector. The objective of this research is to: to construct a theoretical measurement model of effectiveness for the sheep farming associations of Hidalgo and Veracruz, the first part is to analyze descriptively the subjects of study identifying how social capital, collective efficiency, cluster operational and political capacity are related and determine the operability generated in a sheep cluster; the second step is to consider the canonical correlations among all groups of variables as a filter to reduce dimensionality, which is preceded

tres áreas de oportunidad relacionadas con la literatura existente en el tema: sustentabilidad del clúster, habilidad para lograr sus objetivos y la innovación y cambio en él.

Existe una potencial fortaleza en el aumento de la producción ovina que se ve mermada por el desconocimiento y aplicación de los determinantes que hacen que la eficiencia de las asociaciones se incremente. En México existen más de 460 comités estatales, tanto agrícolas, como pecuarios, acuícolas y pesqueros, y 61 nacionales, en el país existen tres uniones y 64 asociaciones especializadas de ovinocultores, agrupadas en la Asociación Mexicana de Criadores de Ovinos, A.C. (AMCO), que a su vez forma parte de la Confederación Nacional de Organizaciones Ganaderas (CNOG) así como la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2016). El comportamiento histórico de la producción de carne de borrego ha presentado una tendencia ascendente, comenzando a tener tasas discretas positivas de crecimiento promedio de 3.6 %, para el período de 1997 a 2017, los Estados de Hidalgo y Veracruz representan el segundo y tercer lugar respectivamente en producción nacional, siendo el primer lugar el Estado de México, Servicio de Información Agroalimentaria y de Consulta (SIACON, 2020).

La ovinocultura ha dejado de ser una actividad de traspasamiento en transición a una actividad rentable, donde se han conformado mecanismos para estimular la producción, generar alternativas de comercialización y asegurar la rentabilidad de las pequeñas unidades empresariales. El Estado de Veracruz logró una producción en 2019 de 5 425 t de carne, en donde el uso de suelo es pastizal cultivado con más de 30 mil km², el Estado de Hidalgo logró una producción de 6 767 t de carne con uso de suelo de agricultura de temporal por 6 930 km², dicha situación permite que en Veracruz se asignen 3.6 millones de hectáreas a la ganadería y en Hidalgo se asignen 815 mil hectáreas para actividades pecuarias; teniendo en cuenta el comportamiento de las importaciones de carne de borrego en los últimos diecisiete años (2003-2020) estadísticamente arrojó una tasa descendente discreta de 4.65 %, sobre alimentación y agricultura, FAOSTAT (2020); convirtiéndose en un área de oportunidad para la apertura comercial de este producto y el desarrollo empresarial de los pequeños productores.

by the exploratory factor analysis (EFA), the concrete construction of the measurement model is done with the confirmatory factor analysis (CFA); the third step is to show the most relevant outcomes of this research accompanied with the most transcendental conclusions.

Materials y Methods

During the period August 2020 - January 2021, data were obtained from 309 producers of the associations of sheep farmers, by applying the questionnaire, which was structured with 36 questions in five thematic sections corresponding to general information and the variables to be evaluated, the answers proposed for each question was in likert scale from 1 to 5, a pilot test was conducted to test the reliability of the questionnaire through Cronbach's Alpha test. The location of the potential sheep cluster is made by means of the Herfindahl-Hirschman location and concentration index, USDJ (2023), the selection of the geographical area studied (Veracruz-Hidalgo), was determined by its approximation with the origin of the industrial clusters of other economic branches close to the study area, in this way the change in the formulation of the indexes is considered due to the way of obtaining the necessary data to be able to calculate them. The location coefficient compares the characteristics of categories (number of employees, sales and added value) on a regional and national level. The output shows the dominant location of these characteristics and is commonly used to identify the presence of clusters within a specific geographic location. In order to capture this information, the criterion is used that $LQ > 1$ in an industry indicates an average degree of specialization in a local sector compared to a national one and this is shown as an indicator of competitive advantage. Where LQ_i is the location coefficient of the employed category, z_i is the number of employees in a measured region, Z is the total number of employees in the measured region, z_i is the number of employees in a studied city, Z is the total number of employees in studied city. The Herfindahl-Hirschman index, USDJ (2023) measures employment sprawl as a source of economic diversity and is an indicator of industrial concentration in a given area. Where, N is the total number of industries in the i^{th} region; e_{ij} is the num-

Cabe señalar que este estudio, pone como muestra a las asociaciones de ovinocultores de los estados de Veracruz e Hidalgo donde no existen investigaciones previas que muestren la importancia de los factores que se analizaron, así como la información recabada permite comprobar la hipótesis central, la cual es que el capital social, la eficiencia colectiva, la política del clúster y la eficiencia operacional determinan la eficacia a nivel clúster dentro del subsector pecuario ovino. El objetivo de esta investigación es: construir un modelo de medición teórico de eficacia para las asociaciones de ovinocultores de Hidalgo y Veracruz, la primera parte es analizar descriptivamente a los sujetos de estudio identificando cómo el capital social, la eficiencia colectiva, la capacidad operacional y política del clúster se relacionan y determinan la operatividad generada en un clúster ovino; el segundo paso es considerar las correlaciones canónicas entre todos los grupos de variables como un filtro para reducir la dimensionalidad, el cual está precedido por el análisis factorial exploratorio (AFE), la construcción concreta del modelo de medición es hecho con el análisis factorial confirmatorio (AFC); el tercer paso es mostrar los resultados más relevantes de esta investigación acompañado con las conclusiones más trascendentales.

Materiales y Métodos

Durante el período agosto 2020 - enero 2021 se obtuvieron los datos de 309 productores de las asociaciones de ovinocultores, al aplicar el cuestionario, el cual se estructuró con 36 preguntas en cinco secciones temáticas correspondientes a información general y a las variables que se pretenden evaluar, las respuestas propuestas para cada pregunta fue en escala likert de 1 a 5, se realizó una prueba piloto para comprobar la confiabilidad del cuestionario a través de la prueba Alpha de Cronbach. La ubicación del potencial clúster ovino es hecho mediante el índice de localización y concentración Herfindahl-Hirschman, USDJ (2023), la selección de la zona geográfica estudiada (Veracruz-Hidalgo), se determinó por su aproximación con el origen de los clústeres industriales de otras ramas económicas cercanas al área de estudio, de esta manera se considera el cambio en la formulación de los índices debido a la forma de obtener los datos necesarios para poder calcularlos.

ber of employment for industry j in the region i^{th} ; and e_i is the total number of employment in the , a high HHI denotes that the regional structure is specialized, while regions with a low HHI indicate that they are industrially diversified. HHI ranges from $1/N$ for a diversified economy to 1 if the entire economy is concentrated in one industry.

The identification of the activity was according to DENU (National Statistical Directory of Economic Units for its acronym in Spanish) of the economic unit 11 (Agriculture, breeding and exploitation of animals), 1124 (Exploitation of sheep and goats) which is included in the 2017 North American industrial classification system.

Within the identification between variables, and due to the nature of the data obtained, the groups previously defined by the measurement instrument were correlated in a canonical manner, with the purpose of verifying the existing linear relationships between groups, it was achieved through the linear combination of each set of variables that has the highest correlation among them, and in this way allowing to determine the existence of some type of association between the two sets of variables of interest (Díaz-Monroy & Morales-Rivera, 2016), this statistical technique was used as a precedent for the application of the exploratory factor analysis (AFE), which leads us to the verification of the dimensions, where the Bartlett's test of sphericity and the Kaiser-Meyer-Olkin index were validated, showing the influence of the factors to be correlated and where the matrix presented will represent adequate results to the sample, as well as allowing to reduce the number of dimensions in a way that is considered parsimonious Sarstedt et al. (2019).

In the empirical analysis, a model (Figure 1) with the determinants that capture information about the dependent efficiency is included, for this we consider important to include the following preliminary model, which was motivated by authors who have focused their research on how to capture information to increase competitiveness in economies that are presented as agglomerative (Pietrobelli & Rabellotti, 2005); Turrini et al. (2010); (Otsuka & Sonobe, 2011).

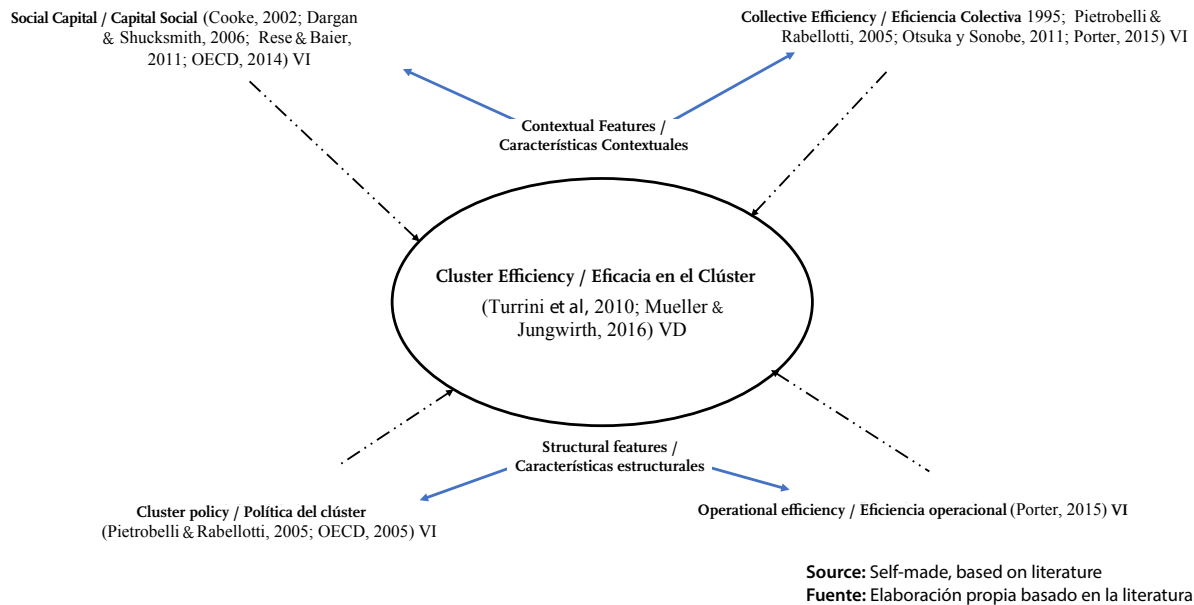
In the previous illustration, the dependent variable is mentioned as the output function of its determinants. The empirical model used obtained the

El coeficiente de localización compara las características de categorías (número de empleados, ventas y valor agregado) en un nivel regional y nacional. Los resultados muestran la localización dominante en dichas características y comúnmente son usados para identificar la presencia de clústeres dentro de una localidad geográfica específica. Para poder captar esta información se utiliza el criterio de que $LQ > 1$ en una industria, indica un grado promedio de especialización en un sector local comparado con un nacional y este se muestra como un indicador de ventaja competitiva. Donde LQ_i es el coeficiente de localización de la categoría empleada, z_i es el número de empleados en una región de medición, Z_i es el número total de empleados en la región de medición, es el número de empleados en una ciudad estudiada, Z es el número total de empleados en una ciudad estudiada. El índice Herfindahl-Hirschman, USDJ (2023) mide la dispersión en el empleo como fuente de diversidad económica, asimismo, es un indicador de concentración industrial en una área determinada. Donde, N es el número total de industrias en la región i^{th} ; e_{ij} es el número de empleo para la industria j en la región i^{th} ; y e_i es el número total de empleo en la región i^{th} , un alto HHI indica que la estructura regional es especializada, mientras que las regiones con bajo HHI denotan que son industrialmente diversificadas. Los rangos de HHI van desde $1/N$ para una economía diversificada hasta 1 si toda la economía está concentrada en una industria.

La identificación de la actividad fue conforme a DENU (Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas) de la unidad económica 11 (Agricultura, cría y explotación de animales), 1124 (Explotación de ovinos y caprinos) misma que se incluye dentro del sistema de clasificación industrial de Norteamérica 2017.

Dentro de la identificación entre variables, y debido a la naturaleza de los datos obtenidos, se correlacionaron de manera canónica los grupos previamente definidos por el instrumento de medición, con la finalidad de comprobar las relaciones lineales existentes entre los grupos, se consiguió mediante la combinación lineal de cada conjunto de variables que posee la más alta correlación entre ellas, y de esta forma permitió determinar la existencia de algún tipo de asociación entre los dos conjuntos de

Figure 1. Ex- ante model of variables
 Figura 1. Modelo ex ante de variables



following result:

$$\sum EFi = f(di, ndc, vc, ee, ac, ep, pro, in_i)$$

The data corresponding to the first section identified with di , do not contribute in any way to the results found in the final proposed model, however, they help us to observe the changes and describe the livestock growers in general. The coefficient of the social capital variable is identified with ndc , these are based on the level of trust and attitude, as well as the cultural values vc , in total there are ten items and it is considered to have a positive impact on the result (Pietrobelli & Rabellotti, 2005); (Humphrey & Schmitz, 2010).

The data corresponding to collective efficiency are identified with ee and ac , which include eight items, these measure the external economies and joint actions of livestock growers and are considered to positively capture the outcome, cluster policy is identified with ep , which included ten items that are the different strategies adopted by the growers, which are presented as causes of the increase in productivity and therefore efficiency.

Operational efficiency is identified with pro , which included five items and represents its measurement,

variables de interés (Díaz-Monroy & Morales-Rivera, 2016), esta técnica estadística sirvió como precedente para la aplicación del análisis factorial exploratorio (AFE), el cual nos conduce a la verificación de las dimensiones, en donde se validó el Test de esfericidad de Bartlett y el índice Kaiser-Meyer-Olkin, el cual muestra la influencia de los factores a correlacionar y en donde la matriz presentada representará resultados adecuados a la muestra, así como permitir reducir el número de dimensiones de forma que se considere parsimonioso Sarstedt et al. (2019).

En el análisis empírico, incluimos un modelo (Figura 1) con los determinantes que captan la información sobre la dependiente eficacia, para ello consideramos importante incluir el siguiente modelo preliminar, el cual fue motivado por los autores que han enfocado sus investigaciones en cómo captar información para aumentar la competitividad en las economías que se presentan como aglomerativas (Pietrobelli & Rabellotti, 2005); Turrini et al. (2010); (Otsuka & Sonobe, 2011).

En la anterior ilustración se menciona la variable dependiente como la función resultado de sus determinantes. El modelo empírico usado generó el resultado siguiente:

$$\sum EFi = f(di, ndc, vc, ee, ac, ep, pro, in_i)$$

this determinant includes the relationship between suppliers and customers, and considered to be a predictor of success in the business relationships of live-stock growers; however, the results show little significance for effectiveness; finally, the variable net annual income is represented as in, which is a control variable that does not influence within the proposed model.

The resulting model was based on the determinants that are applied in the integrated context of efficiency variables of Turrini et al. (2010), these also have a level of influence on the effectiveness, customers, community and productive chain level characteristics that shape the cluster environment, are presented as cohesion to local communities and support to the problems as critical factors, the growing informality in the structures of the cluster determine the high negative impact it has on the competitiveness of the cluster, since they promote business which do not make profits and fall mainly on small livestock growers, stable structures allow the improvement of decision-making processes and to focus government policy on the regional cluster. The present model leads us to be able to achieve clear objectives to elaborate strategies in the live-stock sector at the regional level that would make it possible to increase the efficiency of small business units that are a wasted engine of productivity.

The design of the measurement model is based on the confirmatory factor analysis to define the final (AFC), Hair et al. (2014); where the latent factor loadings showed contribution of the observed variables, the underlying idea is to answer the question if this efficiency model is positively determined through Social Stock, Collective Efficiency, Cluster Policy and Operation Efficiency. The main fit indices of the confirmatory analysis are the NFI (*Normed Fit Index*), which compares the decrease of the statistic χ^2 of the proposed model with respect to the base model. If the value is at least 0.90, it is accepted as adequate, the GFI (*Goodness of fit index*) which determines the goodness of fit by calculating the part of the variance and covariance of the sample that is explained by the model, with values between 0 and 1 and considering adequate when the value is greater than 0.9, the RMSEA (*Root Mean Square Error of Approximation*) refers to the amount of unexplained variance in the model per degree of freedom. That

Los datos correspondientes a la primera sección son identificados con *di*, estos datos no contribuyen de manera alguna en los resultados encontrados en el modelo final propuesto, sin embargo, nos ayudan a observar los cambios y describir de manera general a los productores. El coeficiente de la variable capital social se identifica con *ndc*, estos basan su medición en el nivel de confianza y actitud, así como los valores culturales *vc*, en total son diez ítems y se considera que tiene un impacto positivo sobre el resultado (Pietrobelli & Rabelloti, 2005); (Humphrey & Schmitz, 2010).

Los datos correspondientes a la eficiencia colectiva son identificados con *ee* y *ac*, los cuales incluyen ocho ítems, estos miden las economías externas y las acciones conjuntas de los productores y se considera que captan de manera positiva el resultado, la política del clúster se identifica con *ep*, la cual incluyó diez ítems que son las diferentes estrategias adoptadas por los productores, las cuales se presentan como causas del aumento de la productividad y por ende la eficacia.

La eficiencia operacional se identifica con *pro*, la cual incluyó cinco ítems y representan la medición de esta, este determinante incluye a las relaciones entre proveedores y clientes, y se considera predictor del éxito en las relaciones comerciales de los productores; sin embargo, en los resultados se muestra poco significativa para la eficacia; por último, se representa la variable ingresos anuales netos como *in*, la cual es una variable de control que no influye dentro del modelo propuesto.

El modelo resultante fue trabajado con base en los determinantes que son aplicados en el contexto integrado de variables de la eficacia de Turrini et al. (2010), estos mismos también tienen un nivel de influencia sobre la eficacia, los clientes, la comunidad y a nivel de cadena productiva las características que moldea el ambiente del clúster, se presentan como cohesión a las comunidades locales y el soporte a los problemas como factores críticos, la creciente informalidad en las estructuras de un clúster determinan el alto impacto negativo que tiene sobre la competitividad del clúster, ya que promueven los negocios que no generan utilidad y recaen principalmente sobre los pequeños productores, las estructuras estables permiten mejorar el proceso de toma de de-

is, it determines the degree to which the model fits the sample covariance matrix. Values less than 0.05 represent a good fit Doral et al. (2018).

Results and Discussion

The descriptive analysis obtained the following results: 96 % of the respondents are male and 4 % female ; the preponderant age was 31 to 40, with 19 %; 35 % of the respondents have high school and only 3 % have higher education; 75 % reported as net annual income less than \$ 91 192 pesos mexicanos, as a result of the question about their net annual income after subtracting the cost of food, biosecurity and incentives for the sale of their product, only 5 % reported income greater than \$ 455 886 Mexican pesos ; the location coefficients of the State of Hidalgo was 3.91 and Veracruz 5.47, the industrial concentration coefficient in the State of Hidalgo was 331.36 and in the State of Veracruz it was 481.70; sheep production in Hidalgo was \$ 549 900 660 million Mexican pesos and for Veracruz \$ 338 942 444 million Mexican pesos.

The reliability of the measurement instrument applied to the members of the sheep farmer associations, which was validated Cronbach's alpha coefficient (Lee-Chan & Idris, 2017), the result of this coefficient indicates that the items are represented by the constructs that show high correlation, in this case $\alpha > 0,7$ was obtained on the measured variables, by eliminating some item, the indicator does not improve substantially, so at this stage none is excluded, results are shown in Table 1.

The verification of classical canonical correlations (ACC) between the pairs of predictor variables, which were taken as dependent regressors, this on purpose and in order to find new meaningful relationships by linear combinations of the original variables, so that we determine the magnitude and meaning of the relationships between different sets, This is used to obtain weights of variables criterion and predictor variables and to correlate them in maximum form (Johnson & Wichern, 2015); (Diaz & Morales, 2016), because eigenvalues consolidate the variance of the matrix by redistributing the original variance into a few composite variants, this was done following the criterion of being able to build in a parsimonious way the model of efficiency, which are presented in Table 2.

The significant relationships between linear combinations U and V of the first canonical variables were

cisiones y enfocar la política gubernamental en el clúster regional, el presente modelo nos conduce a poder lograr objetivos claros, elaborar estrategias en el ámbito pecuario de nivel regional que permitirían lograr aumentar la eficacia de las unidades empresariales pequeñas que son un motor desperdiciado de productividad.

El diseño del modelo de medición está basado en el análisis factorial confirmatorio para definir el resultado final (AFC), Hair et al. (2014); en donde las cargas de los factores latentes mostraron la aportación de las variables observadas, la idea subyacente es contestar la pregunta si este modelo de eficacia está determinado de forma positiva mediante el Capital Social, La Eficiencia Colectiva, La Política del Clúster y la Eficiencia Operacional. Los principales índices de ajuste del análisis confirmatorio son el NFI (*Normed Fit Index*), el cual compara la disminución del estadístico χ^2 del modelo propuesto con respecto al modelo base. Si el valor es de al menos 0.90, se acepta como adecuado, el índice GFI (*Goodness of fit index*) que determina la bondad del ajuste calculando la parte de la varianza y covarianza de la muestra que es explicada por el modelo, con valores entre 0 y 1 y considerando adecuado cuando el valor es mayor a 0.9, el RMSEA (*Root Mean Square Error of Approximation*) hace referencia a la cantidad de varianza no explicada en el modelo por grado de libertad. Esto es, determina el grado en el que el modelo se ajusta a la matriz de covarianza de la muestra. Valores inferiores a 0.05 representan un buen ajuste Doral et al. (2018).

Resultados y Discusión

En el análisis descriptivo se obtuvieron los resultados siguientes: 96 % de los encuestados son del sexo masculino y 4 % del femenino; la edad preponderante fue de 31 a 40, con un 19 %; el 35 % de los encuestados tienen preparatoria y solo un 3 % cuentan con universidad; el 75 % reportó como ingresos anuales netos menos de \$ 91 192 pesos mexicanos, derivado de la pregunta sobre sus ingresos anuales netos después de restar el costo de alimentación, bioseguridad e incentivos a la venta que hace de su producto, solo el 5 % reporta ingresos mayores a \$ 455 886 pesos mexicanos; los coeficientes de localización del Estado de Hidalgo fue de 3.91 y el de Veracruz 5.47, el coeficiente de concentración industrial en el

Table 1. Reliability obtained from original variables
Cuadro 1. Confiabilidad obtenida de las variables originales

Variable	Cronbach's Alpha / Alpha de Cronbach	Elements / Elementos	P-value	F-Value
Social Capital / Capital Social	0.929	11	0.000	35.291
Collective Efficiency / Eficiencia Colectiva	0.689	9	0.000	166.580
Cluster Policy / Política del Clúster	0.904	10	0.000	52.225
Operational Efficiency / Eficiencia Operacional	0.777	5	0.013	3.167

Source: Self-made based on R language. / Fuente: Elaboración propia con base en lenguaje R.

Table 2. Canonical correlations of the latent variables
Cuadro 2. Correlaciones canónicas de las variables latentes

	Social Capital / Capital Social	Collective Efficiency / Eficien- cia Colectiva	Cluster Policy / Política del Clúster	Operacional Efficiency / Eficiencia Operacional	Efficacy / Eficacia	Efficacy p-value / Eficacia p-value
Social Capital / Capital Social	X	0.345	0.352	0.277	0.736	0.000
Collective Efficiency / Eficiencia Colectiva	0.345	X	0.338	0.319	0.397	0.000
Cluster Policy / Política del Clúster	0.352	0.338	X	0.352	0.564	0.000
Operacional Efficiency / Eficiencia Operacional	0.277	0.319	0.352	X	0.317	0.000
Efficacy / Eficacia	0.736	0.397	0.564	0.317	X	

Source: Self-made based on R language. / Fuente: Elaboración propia con base en lenguaje R.

Table 3. First canonical variables.
Cuadro 3. Primeras variables canónicas.

Study variables / Variables de estudio	First canonical variable Vector U / Primera variable canónica Vector U	First canonical variable Vector V / Primera variable canónica Vector V
Social Capital vs Collective Efficiency / Capital Social vs Eficien- cia Colectiva	"communication between employees and boss" / "comunicación entre empleados y jefe" -0.6122674X ₆	"ease of getting trained em- ployees" / "facilidad de conse- guir empleados capacitados" 0.7143083Y ₁
Social Capital vs Cluster Policy / Capital Social vs Política del Clúster	"collaborative learning" / "aprendizaje colaborativo" 0.6912138X ₉	"business objectives" / "objetivos empresariales" 0.8476429Y ₁
Social Capital vs Operacional Efficiency / Capital Social vs Eficien- cia Operacional	"collaborative learning" / "aprendizaje colaborativo" 0.6912138X ₉	"consumer satisfaction" / "satisfacción de los consumidores", -0.6535094Y ₄
Collective Efficiency vs Cluster Policy/ Eficiencia Colectiva vs Política del Clúster	"collaborative learning" / "aprendizaje colaborativo" 0.8563321X ₉	"employee training and educa- tion" / "capacitación y educación para los empleados" 0.6114207Y ₃
Collective Efficiency vs Operacional Efficiency / Eficiencia Colectiva vs Eficiencia Operacional	"cooperation and negotiation level" / "nivel de cooperación y negociación" 0.8563321X ₉	"product price" / "precio del producto" 0.3277884Y ₃
Cluster Policy vs Operacional Efficiency / Política del clúster vs Eficiencia Operacional	"livestock grower's planning policy" / "pla- neación política del productor" -0.7714549+0iX ₁₀	"product price" / "precio del producto" 0.5776016Y ₅

Source: Self-made based on R language. / Fuente: Elaboración propia con base en lenguaje R.

calculated according to the assumption of linearity, although high correlations were not found among the groups examined, they still present linearity when evaluated against efficacy, which, being the response variable presents significant correlations that are shown to be the determinant of the variables studied, transformation was not considered necessary, because the groups were compared with efficiency as a variable result and presented useful annotations by relating the studied constructs in a homogeneous way. Among the linear combination, values were moderately high and were classified into four categories: high (> 0.75); moderate ($0.50-0.75$); low ($0.25-0.50$) and weak (< 0.25) Table 3.

According to these canonical indicators, it is proposed to municipal agencies and livestock associations to establish an awareness program towards the training of best practices, the study of a technology transfer model that allows understanding the significant relationships within the business environment and that these are prepared with the inclusion of social capital and collective efficiency, since the main problems as it was stated at the beginning of the study is the lack of cooperation among growers of similar productions and incomes. The polarization of the UPP's has been a consequence of a lack of cooperation, lack of knowledge about better livestock practices and technological models that promote profitable and sustainable production, being this a reason for the industrial concentration in a few farmers with substantial incomes.

The results of exploratory factor analysis (AFE), obtained a KMO sampling adequacy of 0.91 which is considered very acceptable, Buhl (2011), as an ACP extraction method, the results of this analysis confirmed our theoretical considerations, which produced four exogenous variables influencing an endogenous variable (efficacy), the operationalization of the dependent is caused by the sum of the exogenous, we considered eigenvalues greater than one and by the sedimentation graph because the number of original variables did not exceed thirty-five items, it was determined to consider only three exogenous factors Mavrou (2015).

The mean square root of the residue (RSMR) was 0.04. In order to reduce dimensions and specify latent factors, we recalculate the information by apply-

Estado de Hidalgo fue de 331.36 y en el Estado de Veracruz fue de 481.70; la producción pecuaria ovina en Hidalgo fue de \$ 549 900 660 millones de pesos mexicanos y para Veracruz \$ 338 942 444 millones de pesos mexicanos.

La confiabilidad del instrumento de medición aplicado a los integrantes de las asociaciones de ovinocultores, el cual se validó mediante el coeficiente alfa de Cronbach (Lee-Chan & Idris, 2017), el resultado de este coeficiente nos indica que los ítems son representados por los constructos que muestran alta correlación, en este caso se obtuvo un $\alpha > 0,7$ sobre las variables medidas, al eliminarse algún ítem, el indicador no mejora sustancialmente, por lo que en esta etapa ninguno es excluido, los resultados son presentados en el Cuadro 1.

La comprobación de las correlaciones canónicas clásicas (ACC) entre los pares de variables predictoras, las cuales fueron tomadas como regresores de la dependiente, esto a propósito y con el fin de encontrar nuevas relaciones significativas mediante combinaciones lineales de las variables originales, de manera que determinemos la magnitud y sentido de las relaciones entre diferentes conjuntos, esto sirve para obtener ponderaciones de variables criterio y variables predictoras y poder correlacionarlas de forma máxima (Johnson & Wichern, 2015); (Díaz & Morales, 2016), debido a que los eigenvalores consolidan la varianza de la matriz redistribuyendo la varianza original en unas pocas variantes compuestas, esto se hizo siguiendo el criterio de poder construir de manera parsimoniosa el modelo de eficacia, las cuales se presentan en el Cuadro 2.

Las relaciones significativas entre las combinaciones lineales U y V de las primeras variables canónicas fueron calculadas siguiendo el supuesto de linealidad, aunque entre los grupos examinados no se presentaron altas correlaciones, siguen presentando linealidad cuando se evaluaron contra la eficacia, la cual, al ser la variable respuesta presenta correlaciones significativas que se muestran como la determinante de las variables estudiadas, no se consideró necesario la transformación, debido a que los grupos se compararon con la eficacia como variable resultado y presentaron anotaciones de utilidad al relacionarse de forma homogénea los constructos estudiados. Entre las combinaciones lineales se presentaron

ing exploratory factor analysis with factor rotation by the Varimax method, and individual variances greater than 10 % were considered to ensure the validity of the construct; the final result is three latent factors, the loads of the items are significant at $p \leq 0.01$, the criterion was followed that these were greater than 0.50, with a range of values between 0.50 to 0.87, the mean of extracted variance (AVE) was greater than 0.50, Zinbarg et al. (2018), except for only one original variable with a 0.50 loading.

The exploratory factor analysis resulted in three latent factors, which confirmed the reliability analysis and content considerations, these reflect the first factor Social Capital (CapSoc), second factor Collective Efficiency (EfiCol), and third factor Cluster Policy (PolClu). The results of the exploratory factor analysis yielded results where the first factor (CapSoc) explains a variance of 19%, the lowest factor load 0.62 and the highest load was 0.83, these have to do with collaborative work and with the relationship of mutual trust between employers and workers, item A9 Is collaborative learning encouraged? ; the second factor (PolClu) explains a variance of 16% having the lowest factorial load 0.45 and the highest factor loading 0.86, considering this, the best policy strategy would be to improve training within business units, item D3

Do you consider that a policy based on training and education to your employees will achieve higher productivity?; the third factor (EfiCol) explains a variance of 13 % having the lowest factor loading 0.59 and the highest factor loading 0.71 item EC3 What is the level of cooperation/negotiation with other livestock growers or partners?, highlighting that collective efficiency is achieved when the link among different types of actors is increased. The Operational Efficiency component is excluded from the analysis because the percentage of variance does not reach 10 %.

Towards an Effectiveness Model (Figure 2).

To represent the degree of integration of the nodes, this model based on the construction of a structural equation model presents all the trajectories that were grouped into three components that explain 48 % of the accumulated variance and that were chosen by convention so that each component exceeded 10 % of the individual variance, as well as the ei-

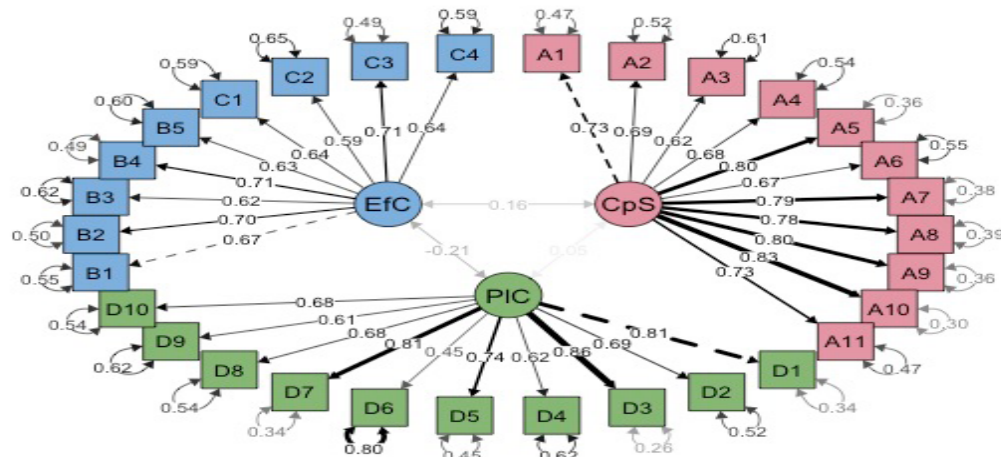
valores moderadamente altos y fueron clasificados en cuatro categorías, alta (> 0.75); moderada (0.50-0.75); baja (0.25-0.50) y débil (< 0.25) Cuadro 3.

De acuerdo a estos indicadores canónicos, se propone a las agencias municipales y a las asociaciones ganaderas, que se establezca un programa de sensibilización hacia la capacitación de mejores prácticas, el estudio de un modelo de transferencia tecnológica que permita entender las relaciones significativas dentro del ámbito empresarial y que estas sean preparadas con la inclusión del capital social y la eficiencia colectiva, debido a que los principales problemas como lo planteamos en el principio del estudio es la falta de cooperación entre productores de producciones e ingresos similares. La polarización de la UPP's ha sido consecuencia de una falta de cooperación, desconocimiento de mejores prácticas pecuarias y modelos tecnológicos que fomenten la producción rentable y sustentable, siendo esto un motivo para la concentración industrial en pocos ganaderos con ingresos sustanciales.

Los resultados del análisis factorial exploratorio (AFE), se obtuvo una adecuación de muestreo KMO de 0.91 la cual se considera muy aceptable, Buhl (2011), como método de extracción ACP, los resultados de este análisis confirmaron nuestras consideraciones teóricas, las cuales produjeron cuatro variables exógenas influenciando una variable endógena (eficacia), la operacionalización de la dependiente es causada por la suma de las exógenas, consideramos autovalores mayores a uno y mediante el gráfico de sedimentación debido a que el número de variables originales no superó los treinta y cinco ítems, se determinó considerar solo tres factores exógenos Mavrou (2015).

La raíz cuadrada media de los residuos (RSMR) fue 0.04. Con el objetivo de reducir dimensiones y precisar los factores latentes, calculamos nuevamente la información aplicando el análisis factorial exploratorio con la rotación de factores por el método Varimax, y se consideraron varianzas individuales mayores a 10 % para asegurar la validez del constructo; el resultado final es tres factores latentes, las cargas de los ítems son significantes a $p \leq 0.01$, se siguió el criterio de que estas fueran mayores a 0.50, con un rango de valores entre 0.50 a 0.87, el promedio de varianza extraída (AVE) fue mayor de 0.50, Zinbarg et al. (2018), con excepción de solo una variable original con la carga del 0.50.

Figure 2. Livestock Cluster Efficacy Model.
Figura 2. Modelo de Eficacia del Clúster pecuario.



Source: Self-made based on R language.
 Fuente: Elaboración propia con base en lenguaje R.

genvalues were greater than one, it is also assumed that the error measures are not correlated with each other, this means that the covariance observed among the measurements can be entirely explained by the underlying construct, it is also important to note that this model is over identified because the number of pieces of information is greater than the number of parameters to be identified, according to the parameters used we have 28 error variances, 28 factorial loadings, 3 factorial covariances and 3 factorial variances, having 62 unknown parameters, if we consider that we set to 1 each one of the latent factors to be able to give a measurement metric to the 3 unobservable factors, it results in $62-3 = 59$ parameters to estimate, given that we have 402 entries = $(28*(28+1)/2)$, keeping this, the degrees of freedom result in $402-59=343$, this allows the validation of the general hypothesis, which is concluded in a way that the efficiency model of a sheep cluster is determined by the variables such as Social Capital (CpS), Cluster Policy (Plc) and Collective Efficiency (EfC), as demonstrated by the canonical correlations, the exploratory factor analysis and the confirmatory factor analysis, figure three represents the proposed model.

The summaries of the AFC, were that the chi-squared χ^2 had a value of 470,2, the discrepancy statistic between χ^2 and degrees of freedom (CMIN/DF) was 1.3, the RMSEA is 0,26, which reports how well the model fits the population, if the value is close to

El análisis de factores exploratorios dio como resultado tres factores latentes, los cuales confirmaron el análisis de confiabilidad y consideraciones del contenido, estos reflejan el primer factor Capital Social (CapSoc), segundo factor Eficiencia Colectiva (EfiCol), y tercer factor Política del Clúster (PolClu). Los resultados del análisis factorial exploratorio arrojaron los resultados en donde el primer factor (CapSoc) explica una varianza de 19 %, la menor carga factorial 0.62 y la mayor carga fue 0.83, estas mismas tienen que ver con el trabajo colaborativo y con la relación de confianza mutua entre patrones y trabajadores, ítem A9 ¿Se fomenta el aprendizaje colaborativo?; el segundo factor (PolClu) explica una varianza de 16 % teniendo la menor carga factorial 0.45 y la mayor carga factorial 0.86, considerando esto, la mejor estrategia política sería la de mejorar la capacitación dentro de las unidades empresariales, ítem D3 ¿Considera usted que una política basada en la capacitación y educación a sus empleados le conseguirá mayor productividad?; el tercer factor (EfiCol) explica una varianza de 13 % teniendo la menor carga factorial 0.59 y la mayor carga factorial 0.71 ítem EC3 ¿Cuál es el nivel de cooperación/negociación con los demás productores o socios?, resaltando que la eficiencia colectiva se consigue cuando se incrementa el vínculo entre diferentes tipos de actores. El componente de Eficiencia Operacional queda excluido del análisis debido a que el porcentaje de varianza no llega al 10 %.

zero it is considered perfect, the CFI is 0,971 which evaluates the fit of estimated model against a restricted solution, the NFI was 0,898 and NNFI is 0,966, both the CFI, NFI and NNFI, if they present measures close to one are considered acceptable. This study demonstrates a signal in the connection between clusters and their social and economic determinants found in a conceptual framework of determinants of efficiency, our evidence suggests that livestock clusters tend to achieve their business objectives by adopting collaborative relationships based on mutual trust, formalization of rules within policies, closing gaps between buyer-supplier relationship, that is maximizing utility and improving waste in time and resources that causes operational efficiency of an enterprise. This suggests that the three determinants of efficiency in this study, were shaped as social factors and which show the importance of building social ties, in addition to taking advantage of the formal rules built in the generation of policies for the associations of sheep farmers, also including that the actions that each individual sheep farmer has a local impact on the profits of this sector, the mobilization, participation and proactive attitude empowers the generation of local economies, in the UPP's of the state of Hidalgo has generated a greater number of positive incidents that have caused an increase in the confidence in its livestock growers. On the other hand, it is necessary to mention that due to the lack of research in the sheep subsector, it is necessary to highlight that these associations promised to keep on training and planning technical assistance as well as dissemination and promotion campaigns through the strategic lines of strengthening the structure and representativeness of the national committee of the sheep product system and to go on with the coordination mechanisms between the national, state and regional levels. (SP OVINOS, 2023).

Conclusions

The discussion lies in the fact that small agglomerations of livestock growers would detonate an increase in efficiency in their business objectives by adopting trust in their partners, suppliers and competitors, when a grower is within a collectivity, it presents different circumstances of social character that allow it to develop in an integral way, this makes

Hacia un Modelo de Eficacia (Figura 2).

Para representar el grado de integración de los nodos, este modelo basado en la construcción de un modelo de ecuaciones estructurales presenta todas las trayectorias que fueron agrupadas en tres componentes que explican el 48 % de varianza acumulado y que se escogieron por convención de que cada componente rebasara el 10 % de la varianza individual, así como los autovalores fueran mayores a uno, también se asume que las medidas de error no están correlacionadas unas con otras, esto significa que la covarianza observada entre las mediciones puede ser explicada enteramente por el constructo subyacente, también es importante señalar que este modelo está sobre identificado porque el número de piezas de información es mayor al número de parámetros a identificar, de acuerdo a los parámetros usados tenemos 28 varianzas de error, 28 cargas factoriales, 3 covarianzas factoriales y 3 varianzas factoriales, teniendo 62 parámetros desconocidos, si consideramos que fijamos a 1 cada uno de los factores latentes para poder darle una métrica de medición a los 3 factores inobservables, resulta en $62 - 3 = 59$ parámetros a estimar, dado que se tienen 402 entradas = $(28 * (28 + 1)) / 2$, manteniendo esto, los grados de libertad resultan en $402 - 59 = 343$, esto permite la validación de la hipótesis general, la cual se concluye de manera en que el modelo de eficacia de un clúster ovino está determinado por las variables Capital Social (CpS), Política del Clúster (Plc) y Eficiencia Colectiva (Efc), como lo demostraron las correlaciones canónicas, el análisis factorial exploratorio y el análisis factorial confirmatorio, la figura tres representa el modelo propuesto.

Los resúmenes del AFC, fueron que la chi cuadrada X^2 tuvo un valor de 470,2, el estadístico discrepancia entre X^2 y grados de libertad (CMIN/DF) fue de 1.3, el RMSEA es de 0,26, el cual reporta qué tanto el modelo se ajusta a la población, si el valor es cercano a cero se considera perfecto, el CFI es de 0,971 el cual evalúa el ajuste del modelo estimado contra una solución restringida, el NFI fue de 0,898 y NNFI es de 0,966, tanto el CFI, NFI y NNFI, si presentan medidas cercanas a uno se consideran aceptables. Este estudio demuestra una señal en la conexión entre los clústeres y sus determinantes sociales y económicos encontrados en un marco conceptual de determinantes de la eficacia, nuestra evidencia sugiere

it necessary to adopt different groups of strength to achieve the objectives of regional competitiveness, as stated by Audretsch et al. (2021).

The findings confirmed what was shown in the framework of (Mueller & Jungwirth, 2016), Turrini et al. (2010), where trust and cooperativeness are contextual characteristics that positively affect efficiency. Just as cooperation and networking are needed to a greater extent when the cluster is in an initial phase and maturity (Brenner & Schlump, 2011); in both Veracruz and Hidalgo there are important deficiencies in the construction of social capital, due to commercial abandonment and barriers of livestock growers with higher annual income. However, this determinant is the one with the greatest positive impact on the cluster formed. The importance of trust relationships between those collaborating in the cluster implies a transfer of knowledge from one livestock grower to another, this also allows for long-lasting social relationships (Bagley, 2019). Due to the industrial concentration and the income generated annually, the association belonging to the States of Hidalgo and Veracruz show synergies and positive incidences for the creation of a functional cluster and the construction of a socioeconomic system that enables them to progress in the country.

Operational and collective efficiency are necessary within the strategic relationships of small livestock growers to satisfy the quality, price, delivery time and service specifications of customers, however, in this research, these determinants present low factor loadings and a low significant association, operational efficiency is closely linked to the cluster policy referred to as the strategies and application of company procedures to regulate its operation, which adopted a moderate significance and is a positive determinant of efficiency, this gives us a guideline for the authorities to play a role in designing policies within regional programs for the construction of productive networks (FAO, 2013); Padilla-Pérez, (2017).

In spite of the influence of the four determinants to generate efficiency in the livestock cluster, only three were significant within it, considering the planning of the agribusiness units that exist in these two geographic States, it is necessary for the functional economy to generate business models that include cooperatives as structural models of trust among

que los clústeres pecuarios tienden a lograr sus objetivos empresariales adoptando relaciones de colaboración basados en la confianza mutua, la formalización de reglas dentro de políticas, cerrando brechas entre la relación comprador-proveedor, esto es maximizando la utilidad y mejorando el desperdicio en tiempo y de recursos que provoca la eficiencia operacional de una empresa. Esto sugiere que los tres determinantes de la eficacia en este estudio, fueron conformados como factores de corte social y los cuales muestran la importancia de la construcción de vínculos sociales, además de aprovechar las reglas formales construidas en la generación de políticas para las asociaciones de ovino-cultores, incluyendo también que las acciones que cada ovinicultor en individual tiene una repercusión local en las ganancias de este sector, la movilización, participación y la actitud proactiva empodera las generaciones de economías locales, en las UPP's del estado de Hidalgo se ha generado un mayor número de incidentes positivos que han provocado aumentar el consumo de barbacoa en el Estado, debido a su concentración industrial y a los planes de capacitación que han aumentado la confianza en sus productores. Por otro lado, se hace necesario mencionar que debido a la falta de investigación en el subsector pecuario ovino es necesario destacar que en estas asociaciones se prometió mantener planes de capacitación y asistencia técnica, campañas de difusión y promoción mediante las líneas estratégicas de fortalecimiento de la estructura y representatividad del comité nacional del sistema producto ovinos y seguir con los mecanismos de coordinación entre niveles nacional, estatal y regional. (SP OVINOS, 2023).

Conclusiones

La discusión radica en que las pequeñas aglomeraciones de productores detonarían un aumento de eficiencia en sus objetivos empresariales al adoptar la confianza en sus socios, proveedores y competidores, cuando un productor está dentro de una colectividad, presenta diferentes circunstancias de carácter social que le permiten desarrollarse de manera integral, esto hace que se tengan que adoptar diferentes grupos de fortaleza para alcanzar los objetivos de competitividad regional, como lo afirma Audretsch et al. (2021).

Los hallazgos confirmaron lo mostrado en el marco de (Mueller & Jungwirth, 2016), Turrini et al.

partners, another point to highlight is that the two States are points of industrial concentration in sheep production, this is remarkable since transaction costs could be decreased as long as there are mechanisms of social capital and political strategies included in the administrative planning, it reaffirms what is mentioned. Cantner et al. (2019) where cluster policies have a positive effect on cluster efficiency, these structures make use of contracts that are formalized within the associations and are managed by some management entity, these same entities can be cluster administrators, private or public.

This model provides theoretical knowledge that is used empirically within the operational activities of sheep growers; it allows objectives to be set for the sheep production chain, so that social variables can be considered as a source of added value on operational activities and economic performance; it also makes it possible to discern the importance of efficiency in growers' cooperativism, mutual trust to increase productivity, and the relevance of rural policy when it is formalized with instruments based on business strategies to regulate production and achieve a balanced operation of production chains. Due to the scope of the study, it was not possible to incorporate relevant variables such as innovation, sustainability or corporate social responsibility; however, it is intended as a contribution for future work to reevaluate the factors that are intended to reduce the social system of the communities.

End of English version

References / Referencias

- Annoni, P., Dijkstra, L., & Gargano, N. (2017). The EU Regional Competitiveness Index 2016. (P. Annoni, L. Dijkstra, & N. Gargano, Edits.) Recuperado el 02 de 2022, de https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/work/201701_regional_competitiveness2016.pdf
- Audretsch, D., & Feldman, M. (1996). R&D Spillovers and the Geography of Innovation and Production. *American Economic Review*, 86(4), 253-273. <https://doi.org/10.1007/s10961-021-09846-5>
- Azis, I. (2022). Agglomeration, Institution, and Social Capital: Main Concepts and Methodologies. In *Periphery and Small Ones Matter*, 35-55. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6831-9_3
- Bagley, M. (2019). Small worlds, inheritance networks and industrial clusters. *Industry and Innovation*, 26(7),

(2010), en donde la confianza y la cooperatividad son características contextuales que afectan de una manera positiva la eficiencia. Así como la cooperación y el networking se necesitan en mayor medida cuando el clúster está en una fase inicial y en etapa de madurez (Brenner & Schlump, 2011); tanto en Veracruz como en Hidalgo existen importantes deficiencias en la construcción del capital social, debido al abandono comercial y barreras de los productores con mayores ingresos anuales. Sin embargo, este determinante es el que presenta mayor incidencia positiva en los conglomerados formados. La importancia de las relaciones de confianza entre los que colaboran en el clúster implica una transferencia de conocimiento de un productor a otro, esto también permite relaciones sociales duraderas (Bagley, 2019). Debido a la concentración industrial y al ingreso generado anualmente, las asociaciones pertenecientes a los Estados de Hidalgo y Veracruz presentan sinergias e incidencias positivas para la formación de un clúster funcional y la construcción de un sistema socioeconómico que les permita su progreso en el país.

La eficiencia operacional y la eficiencia colectiva son necesarias dentro de las relaciones estratégicas de los productores pequeños para satisfacer las especificaciones de calidad, precio, tiempo de entrega y servicio de los clientes, sin embargo, en esta investigación, estos determinantes presentan bajas cargas factoriales y una asociación poco significativa, la eficiencia operacional está íntimamente ligada a la política del clúster referida como las estrategias y la aplicación de procedimientos de la empresa para regular su operación, la cual adoptó una moderada significancia y es un determinante positivo de la eficacia, esto nos da una pauta para que las autoridades jueguen un rol en diseñar las políticas dentro de programas regionales de construcción de redes productivas (FAO, 2013); Padilla-Pérez, (2017).

A pesar de la influencia de los cuatro determinantes para generar eficacia en el clúster pecuario solo tres presentaron significancia dentro de ella, considerando la planeación de la unidades agroempresariales que existen en estos dos Estados geográficos, es necesaria para la funcional economía que se generen modelos de negocios que incluyan a las cooperativas como modelos estructurales de confianza entre socios, otro punto a destacar es que los dos Estados

- 741-768. <https://doi.org/10.1080/13662716.2018.1539650>
- Brenner, T., & Schlump, C. (2011). Policy Measures and their Effects in the Different Phases of the Cluster Life Cycle. *Reg Stud*, 45(10), 1363-1386. <https://doi.org/10.1080/00343404.2010.529116>
- Buhl, A. (2011). *spss 18. Einführung in die moderne Datenanalyse*. <https://elibrary.pearson.de/book/99.150005/9783863268718>
- Cantner, U., Graf, H., & Rothgang, M. (2019). Geographical clustering and the evaluation of cluster policies: introduction. *The Journal of Technology Transfer*(44), 1666-1672. <https://doi.org/10.1007/s10961-018-9666-4>
- Delgado, M., Porter, M., & Stern, S. (2014). Clusters, Convergence and Economic Performance. *Research Policy*, 43(10), 1785-1799. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2014.05.007>
- Díaz-Monroy, L., & Morales-Rivera, M. (2016). Análisis estadístico de datos multivariados. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79916>
- Doebusch, L., & Schussler, E. (2013). „Theorizing Path Dependence: A review of Positive Feedback Mechanisms in Technology Markets, Regional Clusters and Organizations“. *Industrial and Corporate Change*, 3(22), 617-647.
- Doh, S., & McNeely, C. (2012). A multi-dimensional perspective on social capital and economic development: an exploratory analysis. *Ann Reg Sci*, 49:281.
- Doral, F., Rodríguez, I., & Meseguer, A. (2018). Modelos de ecuaciones estructurales en investigaciones de ciencias sociales: Experiencia de uso en Facebook. *Revista de Ciencias Sociales*, 24, 22-40. <https://doi.org/10.31876/rcs.v24i1.24925>
- Duranton, G., Martin, P., Mayer, T., & Mayneris, F. (2010). *Spatial Concentration and Firm Level Productivity in France*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2010.09.002>
- Dussel-Peters, E. (2018). Cadenas globales de valor. Metodología, contenidos e implicaciones para el caso de la atracción de inversión extranjera directa desde una perspectiva regional. México, D.F.: UNAM. <https://dusselpeters.com/127.pdf>
- Eisengerich, A., Falck, O., Heblich, S., & Kretschmer, T. (2012). Firm Innovativeness across Cluster Types. *Industry and Innovation*, 19(3), 233-248. <https://doi.org/10.1080/13662716.2012.669619>

son puntos de concentración industrial en la producción ovina, esto es destacable desde que los costos de transacción pudieran verse disminuidos siempre y cuando existan mecanismos de capital social y estrategias políticas incluidas en la planificación administrativa, se reafirma lo que menciona. Cantner et al. (2019) en donde las políticas del clúster tienen un efecto positivo sobre la eficiencia del clúster, estas estructuras hacen uso de contratos que son formalizados dentro de las asociaciones y son manejadas por alguna entidad de administración, estas mismas entidades pueden ser administradores del clúster, privado o público.

Este modelo permite aportar un conocimiento teórico que es utilizado de forma empírica dentro de las actividades operacionales de los productores de ovinos, permite plantear objetivos a la cadena productiva ovina, de forma que se consideren variables sociales como una fuente de valor agregado sobre actividades operacionales y de rendimiento económico, también permite discernir sobre la importancia que tiene la eficacia sobre el cooperativismo de los productores, la confianza mutua para lograr aumentar la productividad, la relevancia que tiene la política rural cuando se formaliza con instrumentos basados en estrategias empresariales para regular la producción y lograr una equilibrada operación de cadenas productivas. Debido al alcance del estudio no fue posible incorporar variables relevantes como innovación, sustentabilidad o la responsabilidad social corporativa; sin embargo, pretende ser una aportación que en futuros trabajos se haga una reevaluación de los factores que se pretenden reducir en el sistema social de las comunidades.

Fin de la versión en español

- FAO. (2013). Aglomeraciones productivas "Clusters": una vía para impulsar la competitividad del sector agroalimentario en México. México: SAGARPA. <https://cutt.ly/cY6XnVi>
- FAOSTAT. (Enero 12, 2020). Datos sobre alimentación y agricultura. Obtenido de FAOSTAT: <https://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Hair, J., Ringle, C., & Sarstedt, M. (2014). PLS-SEM: Indeed a Silver Bullet. *The Journal of Marketing Theory and Practice*, 19(2), 139-152. <https://doi.org/10.2753/MTP1069-6679190202>

- Humphrey, J., & Schmitz, H. (2010). How Does Insertion in Global Value Chains Affect Upgrading Industrial Clusters? *Regional Studies*, 36(9). <https://doi.org/10.1080/0034340022000022198>
- Iraldo, F., & Daddi, T. (2016). The effectiveness of cluster approach to improve environmental corporate performance in an industrial district of SMEs: a case study. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 23(2), 163-173. <https://doi.org/10.1080/13504509.2015.1106988>
- Ízmen, U. (2014). Exploring linking social capital in economic development. *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 6(1), 133-152.
- Johnson, R., & Wichern, D. (2015). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. (6ª ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Landini, F. (2016). Problemas de la extensión rural en América Latina. *Perfiles Latinoamericanos*, 24(47), 47-68. <https://doi.org/10.18504/pl2447-005-2016>
- Lee, L., & Idris, N. (2017). Validity and reliability of the instrument. Using exploratory factor analysis and cronbach's alpha. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 7, 400-410. <http://dx.doi.org/10.6007/IJARBS/v7-i10/3387>
- Martin, R., & Sunley, P. (November de 2011). Conceptualizing Cluster Evolution: Beyond the Life Cycle Model? 45(10), 1299-1318. <https://doi.org/10.1080/00343404.2011.622263>
- Mavrou, I. (2015). Análisis factorial exploratorio: cuestiones conceptuales y metodológicas. *Revista Lingüística*(19). <https://doi.org/10.26378/rmlael019283>
- Mueller, E., & Jungwirth, C. (2016). What drives the effectiveness of industrial clusters? Exploring the impact of contextual, structural and functioning determinants. *Entrepreneurship & Regional Development*, 28(5-6), 424-447. <https://doi.org/10.1080/08985626.2016.1186748>
- Otsuka, K., & Sonobe, T. (2011). A cluster-based industrial development policy for low income countries. *Policy Research*(5703). <http://hdl.handle.net/10986/3467>
- Padilla Perez, R., & Oddone, N. (2017). Política industrial rural y fortalecimiento de cadenas de valor. CEPAL. <https://cutt.ly/kY6C1Qs>
- Pietrobelli, C., & Rabellotti, R. (2005). Mejora de la Competitividad en clústers y cadenas productivas en América Latina. El papel de las políticas. Washington, D.C: Banco Interamericano de Desarrollo. Serie de buenas prácticas del Departamento de Desarrollo Sostenible. <https://cutt.ly/wY6VaeA>
- Reise, A., & Baier, D. (2011). „Success Factors for Innovation Management in Networks of Small and Medium Enterprises“. *R&D Management*, 41(2), 138-155.
- SAGARPA. (2016). Plan Rector del Sistema Producto Ovinos. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Sarstedt, M., Hair, C., Becker, J., & Ringle, C. (2019). How to specify, estimate, and validate higher-order constructs in PLS-SEM. 27(3), 197-211. <https://doi.org/10.1016/j.ausmj.2019.05.003>
- SIACON. (Octubre 23, 2020). Servicio de Información Agroalimentaria de Consulta. Obtenido de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- SP OVINOS. (2023). (SAGARPA, Ed.) Obtenido de PLAN RECTOR SISTEMA PRODUCTO OVINOS 2015-2024: <https://sursureste.org.mx/wp-content/uploads/2022/08/Plan-Rector-Nacional-del-Sistema-Producto-Ovinos-2016-1.pdf>
- Terziovski, M. (2010). Innovation practice and its performance implications in small and medium enterprises (SMEs) in the manufacturing sector: A resource-based view. *Strategic Management Journal*, 31(8), 892-902. <https://www.jstor.org/stable/i40033134>
- Turrini, A., Cristofoli, D., Frosini, F., & Nasi, G. (2010). Networking Literature about Determinants of Network Effectiveness. *Public Administration*, 88(2), 528-550. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9299.2009.01791.x>
- USDJ. (2023). Antitrust Division U.S Department of Justice. Obtenido de <https://www.justice.gov/atr/herfindahl-hirschman-index>
- Zeibote, Z., & Muravska, T. (2018). Promoting the Regional Competitiveness through cluster's approach: Case of the Latvian Information Technology Cluster. *European Integration Studies*, 12, 77-91. <https://doi.org/10.5755/j01.eis.0.12.20846>
- Zinbarg, R., Pinsof, W., Quirk, K., Kendall, A., Goldsmith, J., Hardy, N., Yaliu He, Sabey A., Latta, T. (2018). Testing the convergent and discriminant validity of the systemic therapy inventory of change initial scales. *Psychotherapy Research*, 28(5), 734-749. <https://doi.org/10.1080/10503307.2017.1325022>



International competitiveness of soybean production: a comparative study of United States, Brazil and Argentina

Luis Javier Legarreta-Sosa¹
Francisco García-Fernández^{2*}
Martín Alfredo Legarreta-González^{3,4}

Abstract

Soybean is a fundamental support in the production and agricultural exports of the United States, Brazil and Argentina, consolidating its position as one of the main crops globally. The three countries have experienced a sustained increase in both production and exports of this crop, positioning them as leaders in international markets and strengthening their global competitive advantage. The analysis of competitiveness indicators reveals not only the comparative advantages in international soybean trade, but also the capacity of these countries to optimize their production processes and take advantage of scale, which reinforces their strategic position in global value chains. By applying the Lafay Index to data obtained from the U.S., Brazil and Argentina, we identify the comparative advantages which allow the three studied countries to be leading soybean exporters. The time series models estimated for the three countries were ARIMA (0, 1, 0), but with drift for Argentina. These models are known as "Random Walk". Therefore, in the case of the United States and Brazil, the projections would be the last calculated Index. These three countries lead the world soybean trade thanks to their specialization and competitive advantages with China as their main market, which makes this oilseed a key element of their agricultural export economies.

Keywords: Commercial advantage, comparative advantage, time series.

Competitividad internacional de la soya: un estudio comparativo de Estados Unidos, Brasil y Argentina

Resumen

La soya es un pilar fundamental en la producción y exportaciones agrícolas de Estados Unidos, Brasil y Argentina, consolidándose como uno de los principales cultivos a nivel global. Los tres países han experimentado un incremento sostenido tanto en la producción como en la exportación de este cultivo posicionándolos como líderes en los mercados internacionales y fortaleciendo su ventaja competitiva global. El análisis de indicadores de competitividad revela no solo las ventajas comparativas en el comercio internacional de soya, sino también, la capacidad de estos países para optimizar sus procesos productivos y aprovechar economías de escala, lo que refuerza su posición estratégica en las cadenas globales de valor. Mediante la aplicación del Índice de Lafay a los datos obtenidos de EE. UU., Brasil y Argentina, identificamos las ventajas comparativas que permiten, a los tres países estudiados, ser líderes exportadores de soya. Los modelos de serie de tiempo estimados para los tres países fueron, ARIMA (0, 1, 0), pero con "drift" para Argentina. Estos modelos son conocidos como "Random Walk". Por lo que, para el caso de Estados Unidos y Brasil, las proyecciones serían el último índice calculado. Estos tres países lideran el comercio mundial de soya gracias a su especialización y ventajas competitivas con China como su principal mercado, lo que convierte a esta oleaginosa en un elemento clave de sus economías agrícolas exportadoras.

Palabras clave: Ventaja comercial, ventaja comparativa, series de tiempo.

¹Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, km 2.5 carretera Delicias-Rosales, Cd. Delicias, Chih. México.

²Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ciencias y Administración, Centro Universitario s/n, Ciudad Victoria, Tamaulipas. México. C. P. 87000.

³Universidad Tecnológica de la Tarahumara, carretera Guachochi-Yoquivo, km 1.5, Guachochi, Chihuahua, México. C. P. 33180.

⁴University of Makeni (UniMak), Postgraduate Department, Fatima Campus, Makeni City 00232, Sierra Leone.

*Corresponding author: ffernandez@docentes.uat.edu.mx Tel. 834 1263107, ORCID ID: 0000-0003-4340-1093

Introduction

The soybean market is one of the fastest growing in the world. It is an oilseed that has a wide variety of uses due to its high protein and oil content. On average, the dry grain contains 20 % of oil and 40 % of protein. The main by-products are oil for human consumption and flour for animal feeding, as a proteic element. In addition to being a legume with high nutritional value, soybean is also used as a raw material for biodiesel production (Dwevedi & Kayashta, 2011).

Brazil and the United States lead world soybean production and exports, being direct competitors in the global market and together controlling approximately 75 % of the total supply. Argentina is also a key player, although its share is significantly smaller compared to the other two economies. These countries are not only competing globally but are also fighting to grab as much share as possible from the world's largest soybean importer: China. This nation, which has experienced remarkable economic growth since the market reforms implemented in the late 1970s, has seen an increment in demand for food, boosting product imports such as soybeans, which are essential for both human consumption and animal feeding.

The objective of this research is to determine the behavior of soybean competitiveness in the three main world producers of this product, the United States, Brazil and Argentina, through the construction of the Lafay index using information from 1990 to 2020, to measure the comparative advantage of each country and, once obtained, to elaborate time series to determine its future behavior, at 10 years, per-country.

Soybean and the world's main competitors

China is the world's largest food importer. China's imports in 2023 were \$140 billion; 3.2 % more than the previous year. Of that total, \$72.7 billion originates from the BRICS countries (Brazil, Russia, India, China and South Africa), which contribute 31 %. The United States and Brazil contribute 12.1 % and 9.2 %, respectively (China International Import Expo, 2023)

Soybean is the main Latin American agricultural export product to the Chinese market. Of total Chinese agricultural imports from Latin America, 69.7% corresponds to soybeans of Brazilian and Argentine origin (IICA, 2022).

Introducción

El mercado de la soya es uno de los de mayor crecimiento en el mundo. Es una oleaginosa que tiene una gran variedad de usos por su elevado contenido en proteínas y aceites. Como promedio, el grano seco contiene 20 % de aceite y 40 % de proteína. Los principales subproductos son, aceite para el consumo humano y harina para el consumo animal, como elemento proteico de los alimentos balanceados. Además de ser una leguminosa con un gran valor nutritivo, la soya también es utilizada como materia prima para la producción de biodiesel (Dwevedi & Kayashta, 2011).

Brasil y Estados Unidos lideran la producción y exportación mundial de soya, siendo competidores directos en el mercado global y controlando, juntos, aproximadamente el 75 % de la oferta total. Argentina también es un jugador clave, aunque su participación es significativamente menor en comparación con las otras dos economías. Estos países no solo compiten globalmente, sino que también luchan por apropiarse de la mayor cuota posible del más grande importador de soya del mundo: China. Esta nación, que ha experimentado un crecimiento económico notable desde las reformas de mercado implementadas a finales de los años 70, ha visto un aumento en la demanda de alimentos, impulsando las importaciones de productos como la soya, la cual es esencial, tanto para el consumo humano como para la alimentación animal.

El objetivo de este trabajo es determinar el comportamiento de la competitividad de la soya en los tres principales productores mundiales de ese producto, Estados Unidos, Brasil y Argentina, a través de la construcción del índice de Lafay utilizando información de 1990 a 2020, para medir la ventaja comparativa de cada país y, una vez que se obtuvo, elaborar series de tiempo para determinar su comportamiento futuro, a 10 años, por país.

La soya y los principales competidores mundiales

China es el principal importador de alimentos del mundo. Las importaciones de China en el año 2023 fueron de 140 mil millones de dólares; 3.2 % más que el año anterior. De ese total, \$72.7 mil millones se originan en los países BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica), que aportan el 31 %. Estados Unidos y Brasil contribu-

In 2022, China imported soybeans for more than US\$63 billion. The growing demand for this oilseed in the Chinese domestic food market is due to the sustained economic growth, poverty reduction and an increase in the country's per capita Gross Domestic Product (GDP). Between 2000 and 2022, soybean imports increased by 635 % (2022).

The remarkable progress of the Chinese economy deeply transformed the consumption patterns of its population, who significantly increased their purchasing power. In 1960, China's GDP per capita was just \$238 (in 2010 dollars). By 1980, this value had risen to \$480, marking the beginning of an unprecedented economic acceleration, thanks to the reforms implemented by Deng Xiaoping. During that decade, the country experienced sustained economic growth, accompanied by a marked reduction in poverty and a substantial improvement in incomes, which eased wider access to food consumption. In 2020, China's GDP per capita reached \$10,370, representing a nearly 50-fold growth over 1960. No other country in the world has achieved an economic leap of such magnitude. Compared to 1990, GDP per capita showed an increase of more than 1,000 %. At the beginning of the 21st century, the Chinese government officially declared the eradication of extreme poverty and a significant reduction in overall poverty levels, which considerably boosted the consumption of food goods (World Bank, 2022).

Between 1990 and 2022, the worldwide area under soybean cultivation, increased by 80 million hectares (160% more than at the beginning of the 90's) and the volume of production multiplied by 2.9, giving an approximate total of 346.86 million tons. In 1990, the price of soybeans per ton was US\$357, and it was not until 1999 and 2000 that the price reached US\$183 per-ton. Since 2001, food prices increased again and the price of soybeans rose to 670 dollars in September 2012 (World Bank, 2018).

In 2019, the United States went on leading the world in the production and export of soybeans. This leadership was explained by several key factors. The Midwest regions of North America had exceptionally favorable climatic conditions, including abundant water availability and sunshine, which ensured high yields. This was compounded by economies of scale, achieved by farming large tracts of efficiently

yen con un 12.1 y un 9.2 %, respectivamente (China International Import Expo, 2023).

La soya es el principal producto de exportación agrícola latinoamericano al mercado chino. Del total de las importaciones agrícolas chinas desde América Latina, el 69.7 % corresponde a la soya de origen brasileña y argentina (IICA, 2022).

En el 2022, China importó soya por más de 63 mil millones de dólares. La creciente demanda de esta oleaginosa en el mercado interno de alimentos chinos se debe al crecimiento económico sostenido, a la reducción de la pobreza y al incremento del PIB per cápita del país. Entre 2000 y 2022, la importación de soya se incrementó en 635 % (2022).

El notable progreso de la economía china transformó profundamente los patrones de consumo de su población, quienes incrementaron de manera significativa su poder adquisitivo. En 1960, el PIB per cápita de China se situaba en apenas 238 dólares (en dólares de 2010). Para 1980, este valor había aumentado a 480 dólares, marcando el inicio de una aceleración económica sin precedentes, gracias a las reformas implementadas por Deng Xiaoping. Durante esa década, el país experimentó un crecimiento económico sostenido, acompañado de una notable reducción de la pobreza y una mejora sustancial en los ingresos, lo que facilitó un acceso más amplio al consumo de alimentos. En 2020, el PIB per cápita de China alcanzó los 10 370 dólares, representando un crecimiento de casi 50 veces respecto a 1960. Ningún otro país en el mundo ha logrado un salto económico de tal magnitud. Comparado con 1990, el PIB per cápita mostró un incremento superior al 1 000 %. A comienzos del siglo XXI, el gobierno chino declaró oficialmente la erradicación de la pobreza extrema y una reducción significativa de los niveles generales de pobreza, lo que impulsó de manera considerable el consumo de bienes alimenticios (Banco Mundial, 2022).

Entre los años de 1990 y 2022, la superficie cultivada destinada a la soya, a nivel mundial, se incrementó en 80 millones de hectáreas (un 160 % más de la superficie destinada a inicios de los 90) y, el volumen de producción se multiplicó por 2.9 dando un total aproximado de 346.86 millones de toneladas. En el año 1990, el precio de la soya por tonelada, era de 357 dólares y fue, hasta los años 1999 y 2000, que el precio llegó a 183 dólares por tonelada. A partir del año 2001,

and profitably cultivated land. The United States also stood out for its use of advanced technologies, such as genetically improved seeds, specialized fertilizers to protect crops, and highly professionalized farm management capabilities, which ensured efficient harvests. In addition, the country's infrastructure and logistics were highly developed, with a modern transportation system that facilitated access to ports and global markets through an integrated network of highways and railroads.

Another key factor was the constant linkage between the agricultural sector and research centers and universities, which fostered innovation and knowledge transfer, enabling the adaptation of seeds and best practices to local climatic conditions. Finally, government support played a crucial role in the success of the sector, through subsidy programs and agricultural policies aimed at guaranteeing stable prices. These measures included direct payments to farm growers, providing a framework of economic security that incentivized production and protected the sector against market fluctuations (USDA, 2020).

The American Soybean Association (ASA) has played a crucial role in protecting the economic interests of U.S. soybean farm growers, manufacturers and marketers. Its work as a lobbying group has focused on influencing public policy, such as the Farm Bill, securing subsidies and government support, as well as promoting trade agreements that favor soybean exports to key markets. In addition, it has promoted research to improve productivity and sustainability and the expansion of markets through new uses such as biodiesel. The ASA has been a key element in positioning U.S. soybeans as global leader in value chains (Ablin & Paz, 2004; Garcia Fernandez, et al., 2018)

Brazil is one of the countries which has constantly increased its production level and cultivated area. In the OECD and FAO Agricultural Outlook 2017-2026 report, Brazil was already predicted to surpass the EU (OECD/FAO, 2017). In 2022 Brazil surpassed the US in production volume by almost four million tons difference and in cultivated area by almost six million hectares (FAO, 2022). The cultivated area in South America has steadily grown since the beginning of the current century. Brazil, Argentina, Bolivia, Paraguay and Uruguay have steadily increased the

los precios de los alimentos se incrementaron nuevamente y el precio de la soya escaló a 670 dólares, en septiembre del 2012 (World Bank, 2018).

En 2019, Estados Unidos continuaba liderando a nivel mundial en la producción y exportación de soya en grano. Este liderazgo se explicaba por diversos factores clave. Las regiones del medio oeste norteamericano contaban con condiciones climáticas excepcionalmente favorables, incluyendo abundante disponibilidad de agua y sol, que aseguraban altos rendimientos. A esto se sumaban las economías de escala, logradas gracias a la explotación de grandes extensiones de tierra cultivada de manera eficiente y rentable. Estados Unidos también destacaba por el uso de tecnologías avanzadas, como semillas genéticamente mejoradas, fertilizantes especializados para proteger los cultivos y una capacidad de gestión agrícola altamente profesionalizada, lo que garantizaba cosechas eficientes. Además, la infraestructura y la logística del país estaban altamente desarrolladas, con un sistema de transporte moderno que facilitaba el acceso a puertos y mercados globales a través de una red integrada de carreteras y ferrocarriles.

Otro factor fundamental era la vinculación constante entre el sector agrícola y los centros de investigación y universidades, que fomentaban la innovación y la transferencia de conocimientos, permitiendo la adaptación de semillas y mejores prácticas a las condiciones climáticas locales. Finalmente, el apoyo gubernamental desempeñó un papel crucial en el éxito del sector, a través de programas de subsidios y políticas agrícolas orientadas a garantizar precios estables. Estas medidas incluían pagos directos a los productores, proporcionando un marco de seguridad económica que incentivaba la producción y protegía al sector frente a las fluctuaciones del mercado (USDA, 2020).

La Asociación Americana de Soya (ASA) ha desempeñado un papel crucial en la protección de los intereses económicos de los productores, industriales y comercializadores de soya en Estados Unidos. Su labor como grupo de presión se ha centrado en influir en políticas públicas, como la Farm Bill, asegurando subsidios y apoyo gubernamental, así como en promover acuerdos comerciales que favorezcan las exportaciones de soya a mercados clave. Además, ha impulsado la investigación para mejorar la productividad y sostenibilidad y la expansión de mer-

area under soybean cultivation. In 2022 they jointly reported almost 63 million hectares (FAO, 2022), a 160 % increase compared to the area in 2000.

The growth of soybean production in Brazil should not only be demonstrated by the increase in the cultivated area. Although it is probably a determining factor, due to the sustained increase in the under-soybean production areas in the country (200 % compared to 2000). Between 2000 and 2019, in the Cerrado region, exploitable agricultural land increased by 120 %, threatening environmental balances and the availability of water resources (Infobae, 2024). Other factors include good yields per hectare, incentive policies for high yield crops, improved agricultural practices and soybean exports, and the promotion of research and experimentation in agricultural researching centers and universities. Public spending was decisive in promoting innovation, such as the creation of the public company Brazilian Agricultural Research Corporation (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBARPA for its acronym in Spanish), dedicated, among other functions, to the development of new varieties and biotechnological and genetic improvement research. It also promoted the construction of infrastructure for logistical development and market access. No less important was the creation of the National Bank for Economic and Social Development (BNDES for its acronym in Spanish), which has provided financing to ease modern technology access (Mesquita, F. C., & Lemos Alves, 2013).

Argentina has consolidated as one of the main soybean producers and exporters in Latin America and in the world, ranking third in international markets (FAO, 2022). This position is largely due to its ability to take advantage of the benefits of the Humid Pampas region, where the combination of fertile land, modern infrastructure and technological advances in agriculture have allowed the development of a competitive agroexport industry. In addition to exporting soybeans in their natural condition, the country processes a significant part of its production into by products such as oil and meal, which adds value and expands its presence in global supply chains. Although it faces significant challenges, such as domestic economic fluctuations and global trade challenges, Argentina remains a benchmark in the sec-

cados a través de nuevos usos como el biodiésel. La ASA ha sido clave para posicionar a la soya estadounidense como un líder en las cadenas globales de valor (Ablin & Paz, 2004; García Fernández, et al., 2018).

Brasil es uno de los países que ha incrementado constantemente su nivel de producción y su área cultivada. En el informe Perspectivas Agrícolas 2017-2026 de la OCDE y la FAO, ya se pronosticaba que Brasil superaría a los EU (OCDE/FAO, 2017). En 2022 Brasil superaba a los EU en volumen de producción, en casi cuatro millones de toneladas de diferencia y en área cultivada por casi seis millones de hectáreas (FAO, 2022). En relación con el área cultivada en América del Sur, ésta ha crecido sostenidamente desde inicios del siglo actual. Brasil, Argentina, Bolivia, Paraguay y Uruguay, han incrementado sostenidamente la extensión de las áreas dedicadas al cultivo de la soya. En 2022 reportaban conjuntamente casi 63 millones de hectáreas (FAO, 2022), un 160 % de incremento comparado con el área del año 2000.

El crecimiento de la producción de soya en Brasil no solo debe ser demostrado por el aumento del área cultivada. Aunque probablemente sea un factor determinante, debido al incremento sostenido de las áreas dedicadas a la producción de soya en el país (200 % en comparación con el 2000). Entre 2000 y 2019, en la región de Cerrado, las tierras agrícolas explotables aumentaron en un 120 %, atentando contra los equilibrios medioambientales y la disponibilidad de recursos hídricos (Infobae, 2024). Otros factores son: los buenos rendimientos por hectárea, las políticas de incentivos a cultivos de alto rendimiento, a la mejora de prácticas agrícolas y exportación de soya, el fomento a la investigación y experimentación en centros de investigación agrícola y en universidades. El gasto público fue decisivo para promover la innovación, como la creación de la empresa pública EMBRAPA (Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria), dedicada entre otras funciones, a desarrollar nuevas variedades y a la investigación biotecnológica y de mejoramiento genético. También promovió la construcción de infraestructuras para el desarrollo logístico y el acceso a los mercados. No menos importante fue la creación del Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social (BNDES), que ha proporcionado financiamiento para facilitar el acceso a tecnologías modernas (Mesquita, F. C., & Lemos Alves, 2013).

tor thanks to the resilience and innovation capacity of its agricultural growers (Trigo, 2011; Burgos, 2023).

Since the 1990s, China has emerged as the world's leading soybean importer, and this trend is no coincidence. Sustained population growth, along with a significant increase in the consumption of meat and dairy products, has driven increased demand for animal balanced feed, with soybeans playing a central role. In addition, Chinese government policies focused on ensuring food safety have accelerated this transformation, making soybeans a strategic product. In this context, countries such as Brazil and the United States have become China's main soybean suppliers, reshaping international agricultural trade flows. This phenomenon not only reflects the importance of China in the global market, but also the impact of its growing demand on exporting economies (FAO, 2022; USDA, 2022).

On the other hand, other important agents in soybean imports, such as the European Union and Mexico, present specific dynamics that contrast with the Chinese case. The European Union, for example, uses soybeans mainly as an input for animal feed, especially in sectors such as poultry and pig farming. However, its dependence on imported soybeans is largely due to restrictions on the cultivation of genetically modified organisms within its territory. In Mexico, the situation is different: although the country has an expanding domestic market, its soybean production is very limited. This has led to a significant dependence on imports, especially from the United States and South American countries, which represents a challenge for its food sovereignty. Despite these particularities, neither the European Union nor Mexico have reached the magnitude or speed of growth in demand shown by the Chinese market, which goes on transforming global agricultural supply chains (OECD/FAO, 2017).

Methods

In order to study the comparative advantage and determine the soybean farm growers' competitiveness (United States, Brazil and Argentina) to the Chinese market, this research was carried out with a quantitative approach and descriptive scope.

The Lafay International Specialization (IL^k) indicator was constructed (Durán Lima & Álvarez, 2011). To

Argentina se ha consolidado como uno de los principales productores y exportadores de soya de América Latina y del mundo, tercer lugar en los mercados internacionales (FAO, 2022). Esta posición se debe, en gran medida, a su capacidad para aprovechar las ventajas de la región de la Pampa Húmeda, donde la combinación de tierras fértiles, infraestructura moderna y avances tecnológicos en la agricultura ha permitido desarrollar una industria agroexportadora competitiva. Además de exportar la soya en estado natural, el país procesa una parte importante de su producción en derivados como aceite y harina, lo que le agrega valor y amplía su presencia en cadenas globales de suministro. Aunque enfrenta retos significativos, como las fluctuaciones económicas internas y los desafíos del comercio mundial, Argentina sigue siendo un referente en el sector gracias a la resiliencia y la capacidad de innovación de sus productores agrícolas (Trigo, 2011; Burgos, 2023).

Desde la década de 1990, China ha emergido como el principal importador de soya en el mundo, y esta tendencia no es casual. El crecimiento sostenido de su población, junto con un aumento significativo en el consumo de carne y productos derivados, ha impulsado una mayor demanda de alimentos balanceados para animales, donde la soya juega un papel central. Además, las políticas del gobierno chino enfocadas en garantizar la seguridad alimentaria han acelerado esta transformación, convirtiendo a la soya en un producto estratégico. En este contexto, países como Brasil y Estados Unidos se han consolidado como los principales proveedores de soya para China, reconfigurando los flujos del comercio agrícola internacional. Este fenómeno no solo refleja la importancia de China en el mercado global, sino también el impacto de su creciente demanda sobre las economías exportadoras (FAO, 2022; USDA, 2022).

Por otro lado, otros actores importantes en la importación de soya, como la Unión Europea y México, presentan dinámicas particulares que contrastan con el caso chino. La Unión Europea, por ejemplo, utiliza la soya principalmente como insumo para la alimentación animal, especialmente en sectores como la avicultura y la porcicultura. Sin embargo, su dependencia de la soya importada responde, en gran medida, a las restricciones existentes en el cultivo de organismos genéticamente modificados dentro de su territorio. En

obtain this indicator, the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and its FAO database (2022) were used as a source of information

The variables used for the calculation of the Lafay International Specialization Indicator were Production (of the studied countries), imports and exports, all of soybeans (grain). For the time series, the Lafay Index and the years (1990 to 2020) were used.

Lafay International Specialization Indicator (IL^k)

The Lafay International Specialization Indicator is an index that measures the degree to which a country has a comparative advantage, in relation to the analyzed item, which allows it to be a natural exporter of that good (Durán Lima & Alvarez, 2011). The formula for its calculation is as follows:

$$IL^k = \frac{Pd}{Pd + M - X}$$

Where:

IL^k = Lafay International Specialization Indicator.

Pd = It is the production of a good.

M = Imports of that good.

X = Exports of the above mentioned good.

This indicator shows the relationship between national production and apparent consumption of the good in question (national production plus imports minus exports). In the evaluation of this indicator, two results are considered: if $IL > 1$, the country is a net exporter of the studied good; if $IL < 1$, the country cannot be classified as a net exporter of the good. The higher the level of the index, the more important exports are as a proportion of national production, consequently, the specialization is stronger as well as the comparative advantage of the country in that product (Durán Lima & Álvarez, 2011).

Time Series

The following theoretical support of the time series methodology is based on the work of Hyndman & Athanopoulos (2021).

In general terms, a time series can be considered a collection of observations made sequentially over time. In fact, a time series is a special kind of stochastic process. Our interest will not focus on deterministic series, but on those whose values behave accor-

México, la situación es distinta: aunque el país cuenta con un mercado interno en expansión, su producción de soya es muy limitada. Esto ha llevado a una dependencia importante de las importaciones, sobre todo desde Estados Unidos y países sudamericanos, lo que representa un desafío para su soberanía alimentaria. A pesar de estas particularidades, ni la Unión Europea ni México han alcanzado la magnitud ni la velocidad de crecimiento en la demanda que ha mostrado el mercado chino, que continúa transformando las cadenas globales de suministro agrícola (OECD/FAO, 2017).

Métodos

Con el propósito de estudiar la ventaja comparativa y determinar la competitividad de las exportaciones de los productores de soya (Estados Unidos, Brasil y Argentina) hacia el mercado chino, se efectuó esta investigación de enfoque cuantitativo y de alcance descriptivo.

Se construyó el indicador de Especialización Internacional de Lafay (IL^k) (Durán Lima & Álvarez, 2011). Para obtener este indicador, se utilizó, como fuente de información, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), y su base de datos FAO (2022).

Las variables utilizadas para el cálculo del Indicador de Especialización Internacional de Lafay fueron: Producción (de los países estudiados), importaciones y exportaciones, todo de soya (grano). Para las series de tiempo se utilizó el Índice de Lafay y los años (1990 a 2020).

Indicador de Especialización Internacional de Lafay (IL^k)

El Indicador de Especialización Internacional de Lafay, es un índice que mide el grado en el que un país posee una ventaja comparativa, referente al rubro analizado, que le permite ser exportador natural de dicho bien (Durán Lima & Alvarez, 2011). La fórmula para llevar a cabo su cálculo es:

$$IL^k = \frac{Pd}{Pd + M - X}$$

Dónde:

IL^k = Indicador de Especialización Internacional de Lafay.

Pd = Es la producción de un bien.

M = Importaciones de dicho bien.

X = Exportaciones de dicho bien.

ding to probability laws. In this study they were used to make a ten-year forecast of the indices.

Definition 1.1 A stochastic process $X(t); t \in T$ is a random variable collection, where T is a set of indices for which all random variables, $X(t, t \in T)$, are defined in the same sample space. When T represents time, we refer to the stochastic process as a *time series*.

If T takes a continuous range of values (e.g., $T = (-\infty, \infty)$ or $T = (0, \infty)$), the process is said to be a *continuous parameter process*. If, on the other hand, T takes a discrete set of values (e.g., $T = 0, 1, 2, \dots$, $T = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$), the process is said to be a *discrete parameter process*. Actually, it is typical to refer to them as continuous and discrete processes, respectively.

We will use the subscript notation, X_t , when dealing specifically with a discrete parameter process. However, when the process in question is of continuous parameters or of unspecified type, we will use the function notation, $X(t)$. Likewise, when there is no confusion, we will often use the notation $\{X(t)\}$ or just $X(t)$ to denote a time series. Similarly, we often shorten or just X_t .

Remember that a random variable, Y , is a function defined on a sample space Ω whose range is the real numbers. An observed value of the random variable Y is a real number for some $\omega \in \Omega$. For a time series $\{X(t)\}$, its "value", for some fixed $\omega \in \Omega$, is a collection of real numbers. This leads us to the following definition.

Definition 1.2 A time series *realization* is the set of real-valued results, $X(t, \omega); t \in T$ for a fixed value of $\omega \in \Omega$.

That is, a realization of a time series is simply a set of values of $\{X(t)\}$, resulting from the occurrence of some observed event. A realization of time series $X(t); t \in T$ will be denoted $\{x(t); t \in T\}$. As before, we will sometimes use the notation $\{X(t)\}$, or just $x(t)$ in the case of continuous parameters and $\{x_t\}$ or x_t in the case of discrete parameters when these are clear. The collection of all possible realizations is called the *set*, and, for a given t , the expectation random variable $X(t)$, is called the mean of the set and will be denoted $E[X(t)] = \mu(t)$. The variance of $X(t)$ is given by $Var[X(t)] = E\{[X(t) - \mu(t)]^2\}$ and is usually denoted by $\sigma^2(t)$, since it may also depend on t .

Este indicador muestra la relación entre la producción nacional y el consumo aparente del producto en cuestión (producción nacional más importaciones menos exportaciones). En la evaluación de este indicador se consideran dos resultados: si $IL > 1$, el país es un exportador neto del bien estudiado; si $IL < 1$, el país no puede ser catalogado como exportador neto del bien. A mayor nivel del índice, más importantes son las exportaciones como proporción de la producción nacional, por consiguiente, más fuerte es la especialización y la ventaja comparativa del país en ese producto (Durán Lima & Álvarez, 2011).

Series de tiempo

El siguiente sustento teórico de la metodología para series de tiempo, está basado en el trabajo de Hyndman & Athanasopoulos (2021).

En términos generales, una serie temporal puede considerarse una colección de observaciones realizadas de forma secuencial en el tiempo. En realidad, una serie temporal es un tipo especial de proceso estocástico. Nuestro interés no se centrará en las series deterministas, sino en aquellas cuyos valores se comportan según las leyes de la probabilidad. En este estudio fueron utilizadas para hacer un pronóstico de los índices a diez años.

Definición 1.1 Un proceso estocástico $X(t); t \in T$ es una colección de variables aleatorias, donde T es un conjunto de índices para el que todas las variables aleatorias, $X(t, t \in T)$, están definidas en el mismo espacio muestral. Cuando T representa el tiempo, nos referimos al proceso estocástico como una *serie temporal*.

Si T toma un rango continuo de valores (por ejemplo, $T = (-\infty, \infty)$ o $T = (0, \infty)$), se dice que el proceso es un proceso de *parámetros continuos*. Si, por el contrario, T toma un conjunto discreto de valores (por ejemplo, $T = 0, 1, 2, \dots$ o $T = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$), se dice que el proceso es un proceso de *parámetros discretos*. En realidad, es típico referirse a ellos como procesos continuos y discretos, respectivamente.

Utilizaremos la notación de subíndice, X_t , cuando tratemos específicamente con un proceso de parámetros discretos. Sin embargo, cuando el proceso en cuestión sea de parámetros continuos o de tipo no especificado, utilizaremos la notación de función, $X(t)$. Asimismo, cuando no se produzca ninguna confusión,

Definition 1.3 If $\{X(t); t \in T\}$ is a time series, then for any $t_1, t_2 \in T$, we define

1. The autocovariance function, $\gamma(\bullet)$, by

$$\gamma(t_1, t_2) = E\{[X(t_1) - \mu(t_1)][X(t_2) - \mu(t_2)]\}$$

2. The autocorrelation function, $\rho(\bullet)$, by

$$\rho(t_1, t_2) = \frac{\gamma(t_1, t_2)}{\sigma(t_1)\sigma(t_2)}$$

Stationary time series

In a time series study, it is usual that only a single realization of the series is available. Analyzing a time series from a single realization is analogous to analyzing the properties of a random variable from a single observation. The concepts of stationarity and ergodicity will play an important role in improving our ability to analyze a time series on the basis of a single realization efficiently. A process is said to be stationary if it is in a state of "statistical equilibrium". The basic behavior of such a time series does not change over time. As an example, for such a process, $\mu(t)$ would not depend on time and could therefore be denoted μ for all t . It seems that, since $x(t)$ for each $t \in T$ provides information about the ensemble mean, μ , it may be possible to estimate μ from a single realization. An ergodic process is one for which the set means, such as μ , can be consistently estimated from a single realization.

The most restrictive notion of stationarity is that of strict stationarity, which we define as follows.

Definition 1.4 A process $\{X(t); t \in T\}$ is said to be strictly stationary if for any $t_1, t_2, \dots, t_k \in T$ and any $h \in T$, the joint distribution of $\{X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_k)\}$ is identical to that of $\{X(t_1 + h), X(t_2 + h), \dots, X(t_k + h)\}$.

NOTE: We have tactically assumed that T is closed under addition.

Strict stationarity requires, among other issues, that for $t_1, t_2 \in T$, the distributions of $X(t_1)$ y $X(t_2)$ are equal, and further that all bivariate distributions of the pairs $\{X(t), X(t + h)\}$ are equal for all h , etc. The requirement of strict stationarity is severe and often difficult to

a menudo utilizaremos la notación $\{X(t)\}$ o simplemente $X(t)$ para denotar una serie temporal. Del mismo modo, solemos acortar o simplemente a X_t .

Recordemos que una variable aleatoria, Y , es una función definida en un espacio muestral Ω cuyo rango son los números reales. Un valor observado de la variable aleatoria Y es un número real para algún $\omega \in \Omega$. Para una serie temporal $\{X(t)\}$, su "valor", para algún $\omega \in \Omega$ fijo, es una colección de números reales. Esto nos lleva a la siguiente definición.

Definición 1.2 Una *realización* de la serie temporal es el conjunto de resultados de valor real, $X(t, \omega); t \in T$ para un valor fijo de $\omega \in \Omega$.

Es decir, una realización de una serie temporal es simplemente un conjunto de valores de $\{X(t)\}$, que resultan de la ocurrencia de algún evento observado. Una realización de la serie temporal $X(t); t \in T$ se denotará $\{x(t); t \in T\}$. Como antes, a veces utilizaremos la notación $\{X(t)\}$, o simplemente $x(t)$ en el caso de parámetros continuos y $\{x_t\}$ o x_t en el caso de parámetros discretos cuando estos sean claros. La colección de todas las realizaciones posibles se llama *conjunto*, y, para un t dado, la expectativa de la variable aleatoria $X(t)$, se denomina media del conjunto y se denotará $E[X(t)] = \mu(t)$. La varianza de $X(t)$ viene dada por $Var[X(t)] = E\{[X(t) - \mu(t)]^2\}$ y se suele denotar por $\sigma^2(t)$, ya que también puede depender de t .

Definición 1.3 Si $\{X(t); t \in T\}$ es una serie temporal, entonces para cualquier $t_1, t_2 \in T$, definimos

1. La función de autocovarianza, $\gamma(\bullet)$, por

$$\gamma(t_1, t_2) = E\{[X(t_1) - \mu(t_1)][X(t_2) - \mu(t_2)]\}$$

2. La función de autocorrelación, $\rho(\bullet)$, por

$$\rho(t_1, t_2) = \frac{\gamma(t_1, t_2)}{\sigma(t_1)\sigma(t_2)}$$

Series temporales estacionarias

En el estudio de una serie temporal, es habitual que solo se disponga de una única realización de la serie. El análisis de una serie temporal a partir de una sola realización es análogo al análisis de las propiedades de una variable aleatoria a partir de una sola observación. Los conceptos de estacionariedad y ergodicidad desempe-

establish mathematically. In fact, for most applications, the involved distributions are unknown. Therefore, less restrictive notions of stationarity have been developed. The most common is *stationarity of covariance*.

Definition 1.5 (Stationarity of covariance). The time series $\{X(t); t \in T\}$ is to be said *stationary for covariance* if

1. $E[X(t)] = \mu$ (constant for all t)
2. $Var[X(t)] = \sigma^2 < \infty$ (i.e., a finite constant for all t)
3. t
4. $\gamma(t_1, t_2)$ depends only on $t_2 - t_1$

Stationarity of covariance is also called weak stationarity, broad stationarity and second-order stationarity.

In time series, as in most areas of statistics, uncorrelated data play an important role. There is no difficulty in defining such a process in the case of a discrete parameter time series. That is, the time series $\{X_t; t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ is called a "purely random process" if the X_t are uncorrelated random variables. When considering purely random processes, we will only be interested in the case where the X_t are also identically distributed. In this situation, it is more common to refer to the time series as *white noise*. The following definition summarizes these observations.

Definition 1.6 (Discrete white noise) The time series is referred to as *discrete white noise* if

1. The X_t 's are identically distributed
2. When $t_2 \neq t_1$ when $\gamma(t, t) = \sigma^2$ where $0 < \sigma^2 < \infty$

An ARIMA (0, 1, 0) series, when it is once differentiated, it becomes an ARMA(0, 0), which is random uncorrelated noise.

If X_1, X_2, X_3, \dots

are the random variables of the series, this means that

$$X_i + 1 - X_i = \epsilon_i + 1$$

where $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots$ is a sequence of centered and uncorrelated random variables.

Reordering

$$X_i + 1 + \epsilon_i$$

Reveals that we have a "paseo aleatorio" or "random walk".

ñarán un papel importante para mejorar nuestra capacidad de analizar una serie temporal sobre la base de una única realización de manera eficaz. Se dice que un proceso es estacionario si se encuentra en un estado de "equilibrio estadístico". El comportamiento básico de una serie temporal de este tipo no cambia con el tiempo. Como ejemplo, para un proceso de este tipo, $\mu(t)$ no dependería del tiempo y, por tanto, podría denotarse μ para todo t . Parece que, dado que $x(t)$ para cada $t \in T$ proporciona información sobre la media del conjunto, μ , puede ser posible estimar μ a partir de una única realización. Un proceso ergódico es aquel para el que las medias del conjunto, como μ , pueden estimarse de forma consistente a partir de una única realización.

La noción más restrictiva de estacionariedad es la de estacionariedad estricta, que definimos como sigue.

Definición 1.4 Un proceso $\{X(t); t \in T\}$ se dice que un proceso es estrictamente estacionario si para cualquier $t_1, t_2, \dots, t_k \in T$ y cualquier $h \in T$, la distribución conjunta de $\{X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_k)\}$ es idéntica a la de $\{X(t_1 + h), X(t_2 + h), \dots, X(t_k + h)\}$.

NOTA: Hemos asumido tácitamente que T es cerrado bajo adición.

La estacionariedad estricta requiere, entre otras cosas, que para cualquier $t_1, t_2 \in T$, las distribuciones de $X(t_1)$ y $X(t_2)$ sean iguales, y además que todas las distribuciones bivariadas de los pares $\{X(t), X(t + h)\}$ sean iguales para todas las h , etc. El requisito de estacionariedad estricta es severo y suele ser difícil de establecer matemáticamente. De hecho, para la mayoría de las aplicaciones, las distribuciones implicadas no se conocen. Por ello, se han desarrollado nociones de estacionariedad menos restrictivas. La más común es la *estacionariedad de covarianza*.

Definición 1.5 (Estacionariedad de la covarianza) La serie temporal $\{X(t); t \in T\}$ se dice que es *estacionaria por covarianza* si

1. $E[X(t)] = \mu$ (constante para todo t)
2. $Var[X(t)] = \sigma^2 < \infty$ (es decir, una constante finita para todo t)
3. t
4. $\gamma(t_1, t_2)$ depende solo de $t_2 - t_1$

Stationarity and differentiation

A stationary time series is that whose properties do not depend on the time at which the series is observed. More specifically, if y_t is a stationary time series, then for all s , the distribution of (y_t, \dots, y_{t+s}) does not depend on t . Thus, time series with trend or with stationarity are not stationary: trend and stationarity will affect the value of the time series at different times. On the other hand, a series with white noise is stationary: no matter when it is observed, it should look the same at any time.

Some cases can be confusing: a time series with cyclical behavior (but no trend or seasonality) is stationary. This is because cycles do not have a fixed-term, so before observing the series we cannot be sure where the peaks and valleys of the cycles will be.

In general, a stationary time series will not have predictable long-term patterns. Time charts will show that the series is more or less horizontal (although it is possible that it may have some cyclical behavior), with a constant variance.

Random Walk Model

The differenced series is the change between consecutive observations of the original series, and it can be written as

$$y'_t = y_t - y_{t-1}$$

The differenced series will only have $T - 1$ values, since it is not possible to calculate a y'_1 for the first observation.

When the differenced series is white noise, the model for the original series can be written as

$$y_t - y_{t-1} = \epsilon_t,$$

where ϵ_t denotes white noise. Reordering this, the "paseo aleatorio" or "random walk" is obtained.

$$y_t = y_{t-1} + \epsilon_t$$

Random walk models are widely used for non-stationary data, in particular financial and economic one. Random walks usually have

La estacionariedad de covarianza también se denomina estacionariedad débil, estacionariedad en sentido amplio y estacionariedad de segundo orden.

En las series temporales, como en la mayoría de las áreas de la estadística, los datos no correlacionados desempeñan un papel importante. No hay dificultad en definir tal proceso en el caso de una serie temporal de parámetros discretos. Es decir, la serie temporal $\{X_t; t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots\}$ se denomina "proceso puramente aleatorio" si las X_t son variables aleatorias no correlacionadas. Al considerar los procesos puramente aleatorios, solo nos interesará el caso en el que las X_t estén también idénticamente distribuidas. En esta situación, es más común referirse a las series temporales como *ruido blanco*. La siguiente definición resume estas observaciones.

Definición 1.6 (Ruido blanco discreto) La serie temporal se denomina *ruido blanco discreto* si

1. Las X_t 's están idénticamente distribuidas
2. Cuando $t_2 \neq t_1$ cuando $\gamma(t, t) = \sigma^2$ donde $0 < \sigma^2 < \infty$

Una serie ARIMA(0, 1, 0), cuando se diferencia una vez, se convierte en un ARMA(0, 0), que es ruido aleatorio, no correlacionado.

Si X_1, X_2, X_3, \dots son las variables aleatorias de la serie, esto significa que

$$X_{i+1} - X_i = \epsilon_i + 1$$

donde $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots$ es una secuencia de variables aleatorias centradas y no correlacionadas.

Reordenando

$$X_{i+1} + 1 + \epsilon_i$$

revela que tenemos un "paseo aleatorio" o "random walk".

Estacionariedad y diferenciación

Una serie temporal estacionaria es aquella cuyas propiedades no dependen del momento en el que se observa la serie. Más concretamente, si y_t es una serie temporal estacionaria, entonces para todo s , la distribución de (y_t, \dots, y_{t+s}) no depende de t . Así, las series temporales con tendencia o con estacionalidad

- long periods of apparent upward or downward trend
- sudden and unpredictable direction changes.

The forecasts of a *random walk* model are equal to the last observation, since future movements are unpredictable and have the same probability of being upward or downward. Thus, the random walk model supports *naive* forecasts.

A closely related model allows the differences to have a non-zero mean. Then:

$$y_t - y_{t-1} = c + \epsilon_t$$

o

$$y_t = c + y_{t-1} + \epsilon_t$$

The value of c is the mean of the changes between consecutive observations la media de los cambios. If c is positive, the mean change is an increase in the value of y_t . Therefore, y_t will tend to rise. However, if c is negative, y_t will tend to drift downward.

This is the model on which the “*drift*” method is based.

Results

First, the calculated results with the Lafay Index are presented, in order to analyze the positioning of the United States, Brazil and Argentina in relation to soybean worldwide exports, and then a time series of these indexes is presented.

LafayIndex

The production value has been considered to calculate this indicator, exports and imports of the United States, Brazil and Argentina, in dollars (USD) for the 1990-2020 years, were also considered. Table 1 presents the Lafay Indexes for the United States, Brazil and Argentina. The index by country shows important specialization and net exporters. Only at the end of the period, Argentina loses that position, as the index dropped to a belowed level 1. This fact reflects the decrease in exports (Figure 1) and a stagnation in national production (Figure 2). In a closer analysis of the Lafay Index, it is observed that the United States has the best performance during the whole period,

no son estacionarias: la tendencia y la estacionalidad afectarán al valor de la serie temporal en diferentes momentos. Por otro lado, una serie con ruido blanco es estacionaria: no importa cuando se observe, debería tener el mismo aspecto en cualquier momento.

Algunos casos pueden ser confusos: una serie temporal con comportamiento cíclico (pero sin tendencia ni estacionalidad) es estacionaria. Esto se debe a que los ciclos no tienen una duración fija, por lo que antes de observar la serie no podemos estar seguros de donde estarán los picos y los valles de los ciclos.

En general, una serie temporal estacionaria no tendrá patrones predecibles a largo plazo. Los gráficos temporales mostrarán que la serie es más o menos horizontal (aunque es posible que tenga algún comportamiento cíclico), con una varianza constante.

Modelo Random Walk

La serie diferenciada es el cambio entre observaciones consecutivas de la serie original, y puede escribirse como

$$y'_t = y_t - y_{t-1}$$

La serie diferenciada solo tendrá valores $T - 1$, ya que no es posible calcular una diferencia y'_1 para la primera observación.

Cuando la serie diferenciada es ruido blanco, el modelo para la serie original puede escribirse como

$$y_t - y_{t-1} = \epsilon_t,$$

donde ϵ_t denota ruido blanco. Reordenando esto se obtiene el modelo de “paseo aleatorio” o “*random walk*”.

$$y_t = y_{t-1} + \epsilon_t$$

Los modelos *random walk* se utilizan ampliamente para los datos no estacionarios, en particular los datos financieros y económicos. Los paseos aleatorios suelen tener

- largos periodos de aparente tendencia al alza o a la baja
- cambios de dirección repentinos e imprevisibles.

although Brazil showed a very important growth in the index from the end of the 90's until 2009, surpassing the United States at some points. The significance in the increase of values in the latter country, expresses the high proportion exported in relation to national production, indicating a higher level of national specialization in soybean production than the other two countries, in 2019 and 2020 years.

The Lafay index performance (IL) for the United States, Brazil and Argentina in the period 1990-2020 reflects the changing dynamics of global soybean trade, a key product in the world agricultural economy. This indicator makes it possible to evaluate the revealed comparative advantages of each country, showing both the specialization and competitiveness of their markets in relation to this strategic crop (Figure 3).

The United States has maintained a leading position in soybean trade, with a consistently high Lafay Index throughout much of the analyzed period. During the 1990s and early 2000s, the IL fluctuated

Las previsiones de un modelo *random walk* son iguales a la última observación, ya que los movimientos futuros son imprevisibles y tienen la misma probabilidad de ser al alza o a la baja. Así pues, el modelo de paseo aleatorio sustenta las previsiones ingenuas (*"naive"*).

Un modelo estrechamente relacionado permite que las diferencias tengan una media distinta de cero. Entonces:

$$y_t - y_{t-1} = c + \epsilon_t$$

o

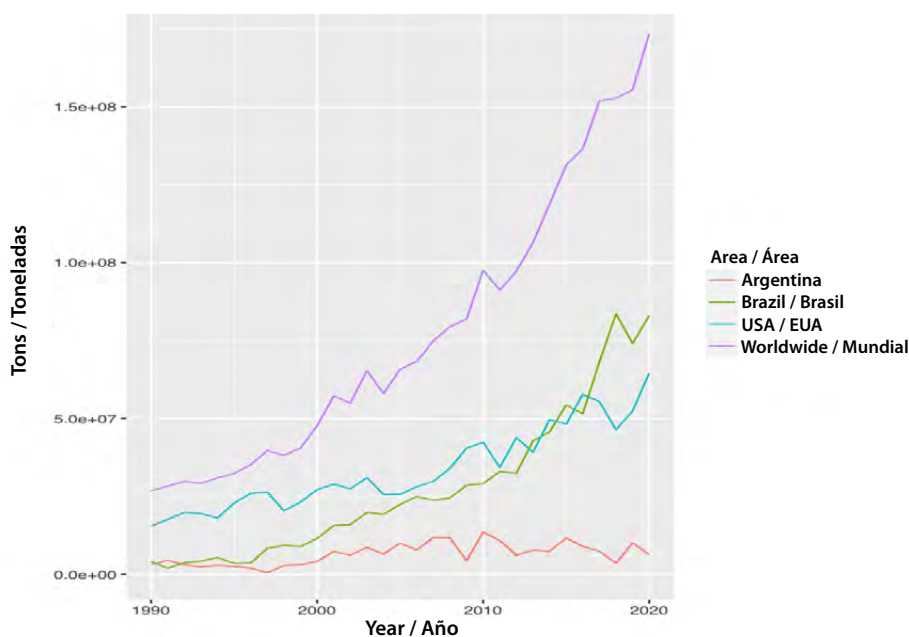
$$y_t = c + y_{t-1} + \epsilon_t$$

El valor de c es la media de los cambios entre observaciones consecutivas. Si c es positivo, el cambio medio es un aumento del valor de y_t . Por lo tanto, y_t tenderá a subir. Sin embargo, si c es negativo, y_t tenderá a desviarse hacia abajo.

Este es el modelo en el que se basa el método de la deriva (*"drift"*).

Figure. 1. Worldwide soybean production. Main producers: Argentina, Brasil and United States, as well as the total world production.

Figura. 1. Producción de soya en el mundo. Principales productores: Argentina, Brasil y Estados Unidos, así como su producción total mundial.



Source: Authors' self-made, based on FAO (2022) data.

Fuente: Elaboración de los autores, a partir de datos de FAO (2022).

Table 1. Lafay indexes, USA, Brazil and Argentina.
Cuadro 1. Índices de Lafay, EUA, Brasil y Argentina.

Year / Año	USA / EUA	Brazil / Brasil	Argentina
1990	NA	1.26	NA
1992	1.50	1.24	1.38
1993	1.62	NA	NA
1994	1.36	NA	NA
1995	1.62	1.16	1.25
1996	1.63	1.18	1.18
1997	1.49	1.43	NA
1998	1.33	1.36	1.15
1999	1.40	1.35	1.12
2000	1.41	1.40	1.07
2001	1.42	1.49	1.10
2002	1.44	1.40	1.13
2003	1.52	1.35	1.09
2004	1.22	1.38	1.07
2005	1.21	1.39	1.07
2006	1.27	1.34	1.04
2007	1.33	1.29	1.08
2008	1.30	1.27	1.04
2009	1.26	1.28	1.02
2010	1.26	1.18	1.05
2011	1.17	1.20	1.07
2012	1.28	1.15	1.01
2013	1.23	1.16	1.03
2014	1.22	1.19	1.03
2015	1.23	1.17	1.04
2016	1.25	1.16	1.02
2017	1.23	1.18	1.02
2018	1.33	1.17	1.06
2019	1.58	1.17	1.02
2020	1.52	1.18	0.98

between 1.17 and 1.63, reflecting the strength of its highly technified and diversified agricultural system (Figure 4). This advantage allowed it to dominate key markets such as China, the European Union and Mexico. However, since 2011, the index has tended to stabilize at lower values (around 1.17-1.28), which could suggest a relative decline in its competitiveness vis-à-vis Brazil, especially in the Asian market.

The rebound of the IL in 2019, reaching 1.58, can be explained by conjunctural factors, such as the effects of the trade war between the United States

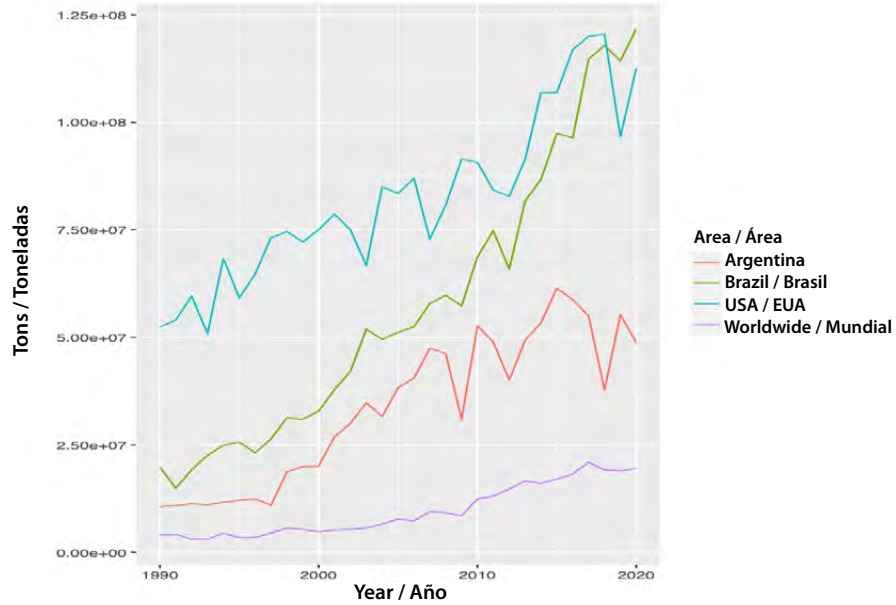
Resultados

Primero, se presentan los resultados calculados con el Índice de Lafay, con el motivo de analizar el posicionamiento de Estados Unidos, Brasil y Argentina en relación con las exportaciones de soya a nivel mundial, posteriormente, se presenta una serie de tiempo de dichos índices.

Índice de Lafay

Se ha considerado el valor de la producción para calcular este indicador, también se consideraron las ex-

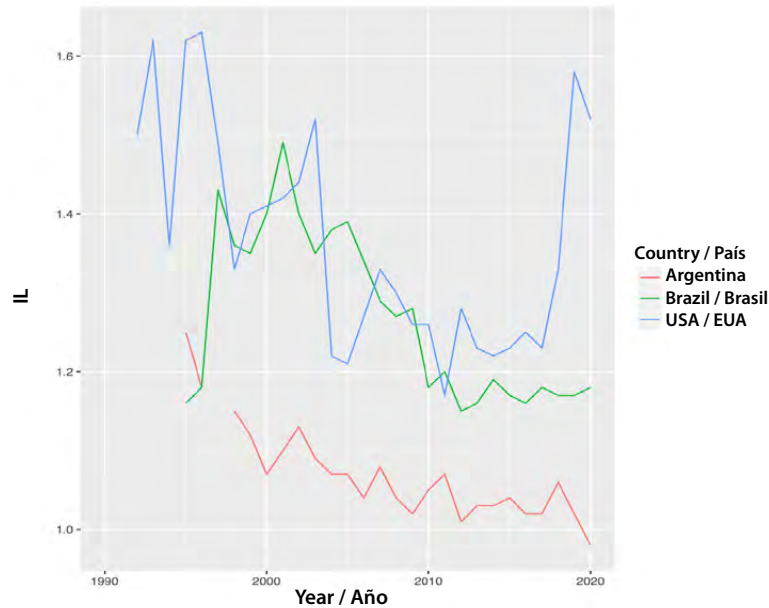
Figure 2. Soybean exports. Main exporters: United States, Argentina and Brazil.
Figura 2. Exportaciones de soya. Principales exportadores: Estados Unidos, Argentina y Brasil.



Source: Authors' self-made, based on FAO (2022) data.
Fuente: Elaboración de los autores, a partir de datos de FAO (2022).

Figure 3. Lafay indexes, EUA, Brasil y Argentina. Dashed lines indicate that the necessary information is not available for those years to calculate the Lafay.

Figura 3. Índices de Lafay, EUA, Brasil y Argentina. Las líneas discontinuas, indican que no se cuenta con la información necesaria, de esos años, para el cálculo del Índice de Lafay.



Source: Authors' self-made.
Fuente: Elaboración de los autores.

Figure 4. Lafay Index for United States of America with a 10 year projection, with confidence intervals for the projection.

Figura 4. Índice de Lafay para Estados Unidos de América con una proyección a 10 años, con los intervalos de confianza para la proyección.

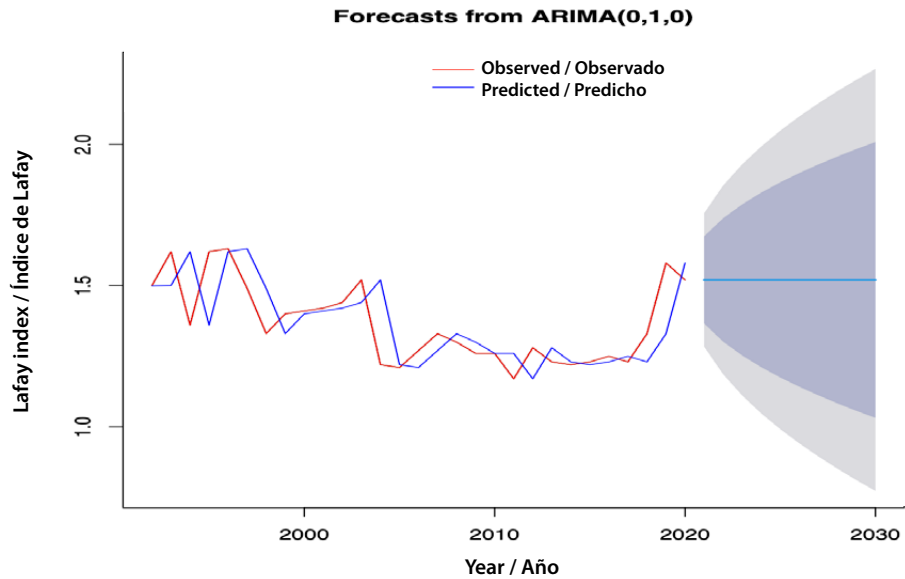
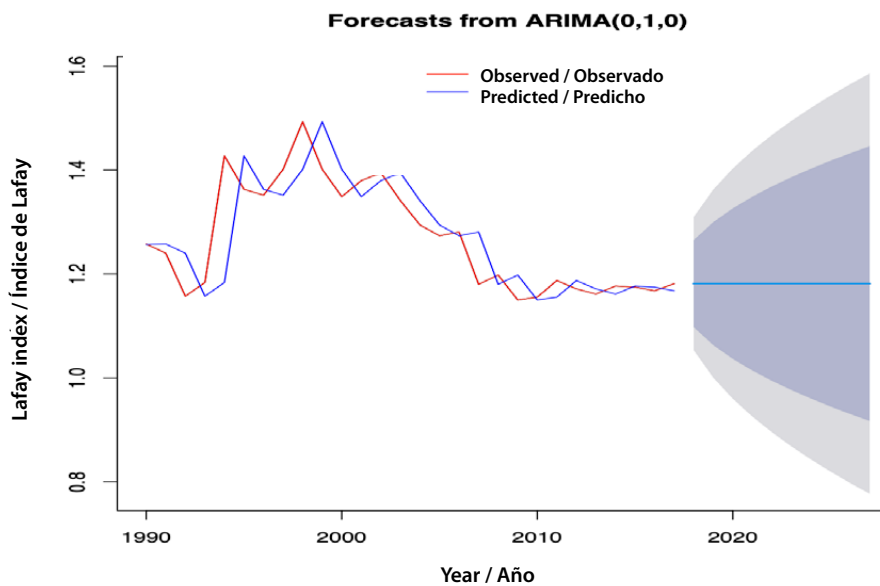


Figure: Authors' self-made.

Figura: Elaboración de los autores.

Figura 5. Lafay Index for Brazil with a 10-year projection, with the CIs for the same one.

Figura 5. Índice de Lafay para Brasil con una proyección a 10 años, con los IC para ésta.



Source: Authors' self-made.

Fuente: Elaboración de los autores.

and China, which altered the usual international trade flows. Despite these fluctuations, the United States remains a key player in the global soybean trade, thanks to its ability to adapt to changes in international demand and maintain its productivity through technological innovation and the alternative markets expansion.

Brazil shows an upward trajectory in the Lafay Index, which is evidence of its growing specialization and competitiveness in international soybean trade. During the 1990s, the Brazilian IL was at moderate levels (1.16-1.43), but since 2000, Brazil has been consolidating its comparative advantage, with values ranging between 1.18 and 1.49. This growth is closely linked to the expansion of the agricultural frontier, the intensive use of biotechnology, and an increasingly efficient export infrastructure, which allowed it to meet the growing demand of markets such as China.

In the last decade (2010-2020), Brazil's IL stabilized around 1.15-1.20, reflecting that the country achieved a solid position in international soybean trade. However, this growth has not been without challenges, such as environmental conflicts arising from agricultural expansion in the Amazon region and logistical challenges in growing areas. Nevertheless, Brazil has consolidated its position as the world's leading soybean exporter, especially to the Chinese market, the largest global importer.

Compared to the United States and Brazil, Argentina has a lower Lafay Index, reflecting a more moderate comparative advantage. During the 1990s and early 2000s, IL values for Argentina ranged between 1.07 and 1.25, which is evidence of a positive specialization in soybean trade and, in particular, of its dairy products such as oil and meal, products that represent a significant proportion of the country's exports.

However, starting in 2006, Argentina's IL begins to show a downward trend, standing at around 1.03 by 2013 and reaching values as low as 0.98 in 2020. This decline suggests a relative loss of competitiveness compared to Brazil and the United States, driven by several factors. These include domestic economic policies, such as export withholding taxes, which reduced incentives for growers; lack of investment in agricultural technology; and a high dependence on variable weather conditions, which significantly affect productivity. Despite this trend, Argentina

portaciones e importaciones de Estados Unidos, Brasil y Argentina, en dólares (USD) para los años de 1990-2020. El Cuadro 1 presenta los Índices de Lafay en Estados Unidos, Brasil y Argentina. El índice por país muestra, especialización importante y exportadores netos. Solo al final del periodo, Argentina pierde esa posición, pues el índice bajó a un nivel inferior a 1. Este hecho, es reflejo de la disminución de las exportaciones (Figura 1) y un estancamiento en la producción nacional (Figura 2). En un análisis más cerca del Índice de Lafay, se observa que los Estados Unidos tienen el mejor comportamiento, durante todo el periodo, aunque Brasil mostró un crecimiento muy importante en el índice, desde fines de los 90 hasta 2009, superando en algunos momentos a los Estados Unidos. El significado en el incremento de los valores en este último país, expresa la elevada proporción exportada en relación con la producción nacional, indicando un nivel superior de especialización nacional en la producción de soya que los otros dos países, en los años 2019 y 2020.

El comportamiento del Índice de Lafay (IL) para Estados Unidos, Brasil y Argentina en el período 1990-2020 refleja las dinámicas cambiantes del comercio global de soya, un producto clave en la economía agrícola mundial. Este indicador permite evaluar las ventajas comparativas reveladas de cada país, mostrando tanto la especialización como la competitividad de sus mercados en relación con este cultivo estratégico (Figura 3).

Estados Unidos ha mantenido una posición de liderazgo en el comercio de soya, con un Índice de Lafay consistentemente alto en gran parte del período analizado. Durante los años 90 y principios de los 2000, el IL fluctuó entre 1.17 y 1.63, reflejando la fortaleza de su sistema agrícola, altamente tecnificado y diversificado (Figura 4). Esta ventaja le permitió dominar mercados clave como China, la Unión Europea y México. Sin embargo, a partir del 2011, el índice mostró una tendencia hacia la estabilización en valores más bajos (alrededor de 1.17-1.28), lo que podría sugerir una disminución relativa de su competitividad frente a Brasil, especialmente en el mercado asiático.

El repunte del IL en 2019, alcanzando 1.58, puede explicarse por factores coyunturales, como los efectos de la guerra comercial entre Estados Unidos y China, que alteraron los flujos habituales del comercio inter-

goes on playing an important role in the international soybean trade, especially thanks to its capacity to process the grain into value-added products.

Time series analysis

The time series models were estimated using the *auto.arima()* function of R (R Core Team, 2024). For the three countries an ARIMA (0, 1, 0) model was obtained, which is known as *Random Walk Forecast*. These models, after first differencing, are converted to an ARIMA (0, 0). They can also be estimated using the *naïve* method and, for forecasting, we simply set all forecasts to be the value of the last observation. That is,

$$\hat{y}_T + h | T = y_T.$$

This method works very well for many economic and financial time series (Hyndman & Athanasopoulos, 2021)

For all three countries, we find an ARIMA (0, 1, 0) model (Figures 4, 5 and 6). However, for Argentina it was found that the model is with *drift*. For the projection of the Lafay indexes for the United States, it would be equal to the last data. However, for Argentina, this is not the case, so the 10-year projection is shown in Table 2 and Figure 6.

Discussion

The use of the Lafay Index (IL) in this study is based on its ability to provide a comprehensive view of revealed comparative advantage by considering both net exports and net imports in global trade. Although the Constant Market Share (CMS) model, employed by Figueira & Galache (2023), is useful for identifying specific factors that explain export performance—such as world trade growth, export destination, and competitiveness—, its scope focuses on point variations in a product, such as soybeans. In contrast, the Lafay Index encompasses a broader analysis of economic specialization, integrating all stages of a product's value chain (e.g., soybeans grains, oil and farelo), which is key for countries such as Argentina, where most soybean production is destined for domestic processing and export of derivatives (Figueira & Galache, 2023).

nacional. A pesar de estas fluctuaciones, Estados Unidos sigue siendo un actor clave en el comercio global de la soya, gracias a su capacidad para adaptarse a los cambios en la demanda internacional y mantener su productividad a través de la innovación tecnológica y la expansión de mercados alternativos.

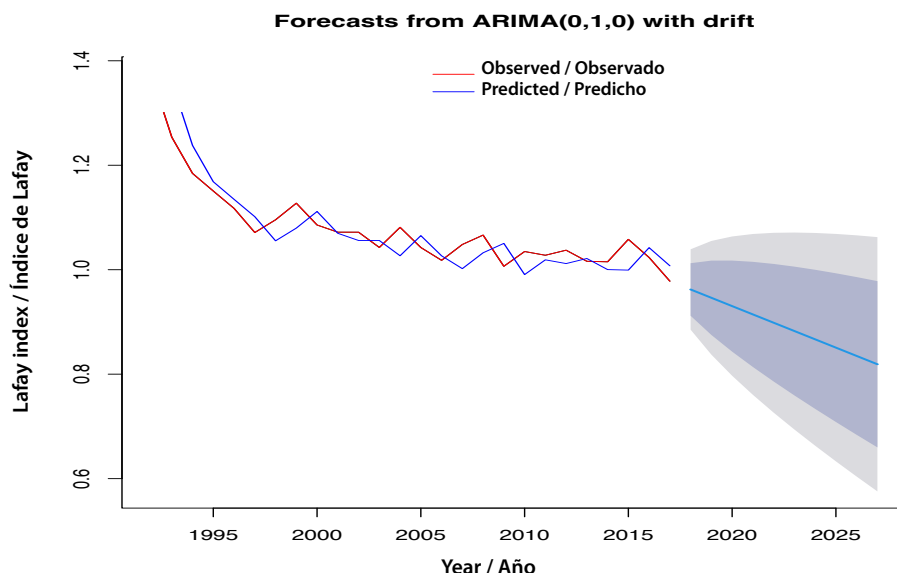
Brasil presenta una trayectoria ascendente en el Índice de Lafay, lo que evidencia su creciente especialización y competitividad en el comercio internacional de soya. Durante los años 90, el IL brasileño se situó en niveles moderados (1.16-1.43), pero a partir del 2000 se observa una consolidación de su ventaja comparativa, con valores que oscilan entre 1.18 y 1.49. Este crecimiento está estrechamente ligado a la expansión de la frontera agrícola, el uso intensivo de biotecnología, y una infraestructura cada vez más eficiente para la exportación, que le permitió atender la creciente demanda de mercados como China.

En la última década (2010-2020), el IL de Brasil se estabiliza en torno a 1.15-1.20, lo que refleja que el país alcanzó una posición sólida en el comercio internacional de soya. Sin embargo, este crecimiento no ha estado exento de desafíos, como los conflictos ambientales derivados de la expansión agrícola en la región amazónica y los retos logísticos en áreas productoras. A pesar de ello, Brasil se ha consolidado como el principal exportador de soya del mundo, especialmente hacia el mercado chino, el mayor importador global.

En comparación con Estados Unidos y Brasil, Argentina presenta un Índice de Lafay más bajo, lo que refleja una ventaja comparativa más moderada. Durante los años 90 y principios del 2000, los valores del IL para Argentina oscilaron entre 1.07 y 1.25, lo que evidencia una especialización positiva en el comercio de soya y, en particular, de sus derivados como el aceite y la harina, productos que representan una proporción significativa de las exportaciones del país.

Sin embargo, a partir de 2006, el IL de Argentina comienza a mostrar una tendencia descendente, situándose en torno a 1.03 hacia 2013 y alcanzando valores tan bajos como 0.98 en 2020. Este declive sugiere una pérdida relativa de competitividad en comparación con Brasil y Estados Unidos, impulsada por varios factores. Entre ellos destacan las políticas económicas internas, como las retenciones a las exportaciones, que redujeron los incentivos para

Figure 6. Argentina’s Lafay Index with a projection and its confidence intervals to 10 years.
Figura 6. Índice de Lafay de Argentina con una proyección y sus intervalos de confianza, a 10 años.



Source: Authors’ self-made.
 Fuente: Elaboración por los autores.

Table 2. Argentina’s 10-year projection of the Lafay Index, as well as confidence intervals.
Cuadro 2. Proyección del Índice de Lafay, para Argentina, a 10 años, así como los intervalos de confianza.

Years / Años	ICinf	Mean / Media	ICsup
2021	0.8852	0.9621	1.039
2022	0.8374	0.9462	1.055
2023	0.7970	0.9303	1.064
2024	0.7605	0.9144	1.068
2025	0.7264	0.8985	1.071
2026	0.6941	0.8826	1.071
2027	0.6631	0.8667	1.070
2028	0.6331	0.8508	1.068
2029	0.6040	0.8349	1.066
2030	0.5756	0.8190	1.062

The Lafay Index reflects the global competition around the world soybean markets. Precisely the largest and most expanding market is China. Competition in soybean production and exports in the world has been concentrated in these three countries. The Lafay Index for the three countries showed that Brazil has been steadily gaining competitiveness. The United States has also shown positive results, which

los productores; la falta de inversiones en tecnología agrícola; y una alta dependencia de condiciones climáticas variables, que afectan significativamente la productividad. Pese a esta tendencia, Argentina sigue desempeñando un papel importante en el comercio internacional de soja, especialmente gracias a su capacidad de procesar el grano en productos con valor agregado.

indicates that soybean production and exports in the country have gone on growing steadily, but at lower rates of increase than those of Brazil, so it has lost ground to Brazil. Argentina, on the other hand, although an important world producer and exporter, is in third place, distanced from the world leaders. In the last year, it has steadily lost competitiveness (the index fell below 1) and is an expression of the loss of weight in worldwide exports.

The competition between Brazil and the United States is an expression of the strategic interests of both countries for the dominance of the world soybean market. Time series of the Lafay Index were calculated for the three countries and it was obtained, for the United States and Brazil, that both have a regular behavior, with similar trends, with a prediction of maintaining stable Lafay Index levels in the long term. Brazil's behavior is also very similar to that of the United States; the ILF will apparently remain at the same levels in the medium term. In contrast, Argentina has a medium-term downward trend, which reflects the recent behavior of domestic production. In 2014-2015 it reached the maximum production peak, not yet recovering that level (FAO, 2022).

Conclusions

The results of this analysis make it clear that the United States, Brazil and Argentina have a strong international specialization in soybean production and exports. These three countries not only lead the global trade of this legume but also play a crucial role in their national economies by positioning themselves as the world's largest net exporters. This leadership, backed by comparative advantages, has been key to soybean's consolidation as a strategic product in their agricultural export profile.

A relevant observation is that most of the soybean exports of these countries are directed to China, which is today the largest importer of soybeans in the world. This trade linkage has not only allowed these countries to supply the growing Chinese demand, but also to expand their reach into other international markets, thus strengthening their role in global agricultural trade.

In addition, these results have shown that soybeans have gained prominence in the export

Análisis de serie de tiempo

Los modelos de serie de tiempo fueron estimados usando la función *auto.arima()* de R (R Core Team, 2024). Para los tres países se obtuvo un modelo ARIMA(0, 1, 0), el cual es conocido como *Random Walk Forecast* (Predicción de paseo aleatorio). Estos modelos, después de la primera diferenciación, se convierten en un ARIMA(0, 0). Asimismo, se pueden estimar usando el método *naïve* (ingenuo) y, para hacer pronósticos, simplemente establecemos que todas las previsiones sean el valor de la última observación. Es decir,

$$\hat{y}_T + h|T = y_T.$$

Este método funciona muy bien para muchas series temporales económicas y financieras (Hyndman & Athanasopoulos, 2021).

Para los tres países, encontramos un modelo ARIMA(0, 1, 0) (Figuras 4, 5 y 6). Sin embargo, para Argentina encontramos que el modelo es con *"drift"*. Para la proyección, de los índices de Lafay para Estados Unidos, sería igual al último dato. Sin embargo, para Argentina, no es así, por lo que se muestra, en el Cuadro 2 y la Figura 6, la proyección a 10 años.

Discusión

El uso del Índice de Lafay (IL) en este estudio se fundamenta en su capacidad para ofrecer una visión integral de la ventaja comparativa revelada, al considerar tanto las exportaciones como las importaciones netas en el comercio global. Aunque el modelo Constant Market Share (CMS), empleado por Figueira & Galache (2023), es útil para identificar los factores específicos que explican el desempeño exportador —como el crecimiento del comercio mundial, el destino de las exportaciones y la competitividad—, su alcance se centra en variaciones puntuales de un producto, como la soya en grano. En contraste, el Índice de Lafay abarca un análisis más amplio de la especialización económica, integrando todas las etapas de la cadena de valor de un producto (por ejemplo, la soja en grano, el aceite y el farelo), lo cual resulta clave para países como Argentina, donde la mayor parte de la producción de soja se destina al procesamiento interno y exportación de derivados (Figueira & Galache, 2023).

dynamics of these nations, registering continuous growth in recent decades. Factors such as increased agricultural productivity, the expansion of the agricultural frontier and sustained international demand have been decisive in achieving this success.

However, it is important to recognize the limitations of this study. The research focused exclusively on the variables of soybean production, exports and imports in the three mentioned countries, considering only the period 1990-2020. This temporal delimitation responds to the availability of data in the consulted sources, which left out information from more recent years. Despite this limitation, the study manages to offer a comprehensive view of the leading role played by the United States, Brazil and Argentina in world soybean trade.

Finally, this study opens the door to further research that addresses additional factors such as logistical costs, trade policies, environmental sustainability and changes in market trends in recent years. Expanding the analysis to these aspects will provide a better understanding of the challenges and opportunities facing the global soybean trade in an increasingly complex economic and climatic environment.

End of English version

References / Referencias

- Ablin, E. R., & Paz, S. (2004). Política comercial y organismos genéticamente modificados: el mercado mundial de la soya y el caso de Argentina. En: Bárcena, A.; Katz, J.; Morales, C. y Schaper, M. (Eds.) *Los transgénicos en América Latina y el Caribe: un debate abierto*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago de Chile: Naciones Unidas. Disponible en: <https://ideas.repec.org/b/ecri/col015/2410.html>
- Banco Mundial. (2022). *Cuatro décadas de reducción de la pobreza en China*. Disponible en: https://spanish.china.org.cn/txt/2022-04/02/content_78145876.htm
- Burgos, M. (2023). *El triángulo de la soja: China - Estados Unidos - Argentina (2001-2019)* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Quilmes]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Quilmes. Disponible en: <https://ridaa.unq.edu.ar/>
- China International Import Expo. (2023). China's food import. Nation develops growing appetite for food imports. Dis-

El Índice Lafay refleja la competencia mundial en torno a los mercados mundiales de soya. Precisamente el mercado más grande y de mayor expansión es el de China. La competencia en la producción y exportaciones de soya en el mundo, se han concentrado en esos tres países. La obtención del Índice de Lafay para los tres países mostró, que Brasil, ha ido sostenidamente ganando competitividad. Estados Unidos ha mostrado igualmente resultados positivos lo cual indica que la producción y exportaciones de soya en el país han continuado creciendo sostenidamente, pero a tasas de incremento menores que las de Brasil, por lo que ha perdido posiciones ante él. En cambio, Argentina aunque es un importante productor y exportador mundial, ocupa un tercer puesto, distanciado de los líderes mundiales. En el último año, ha perdido sostenidamente competitividad (el índice bajó por debajo de 1), y es expresión de la pérdida de peso en las exportaciones mundiales.

La competencia entre Brasil y los Estados Unidos es expresión de los intereses estratégicos de ambos países por el dominio del mercado mundial de soya. Se calcularon series de tiempo de Índice de Lafay para los tres países y se obtuvo, para Estados Unidos y Brasil, que ambos tienen un comportamiento regular, con tendencias similares, con una predicción de mantener niveles de Índice de Lafay estables en el largo plazo. En Brasil también el comportamiento es muy semejante a los Estados Unidos, el ILF al parecer se va a mantener a los mismos niveles en el mediano plazo. En cambio, Argentina tiene una tendencia a mediano plazo a la reducción, lo cual refleja el comportamiento reciente de la producción nacional. En 2014-2015 se alcanzó el tope máximo de producción, no recuperando aún ese nivel (FAO, 2022).

Conclusiones

Los resultados de este análisis dejan en claro que Estados Unidos, Brasil y Argentina tienen una marcada especialización internacional en la producción y exportación de soya. Estos tres países no solo lideran el comercio global de esta leguminosa, sino que también desempeñan un papel crucial en sus economías nacionales al posicionarse como los mayores exportadores netos a nivel mundial. Este liderazgo, respaldado por ventajas comparativas, ha sido clave para

- ponible en: <https://www.ciee.org/zbh/en/news/exhibition/news/20231207/42163.html>
- Durán Lima, J. E., & Álvarez, M. (2011). *Manual de comercio exterior y política comercial: Nociones básicas, clasificaciones e indicadores de posición y dinamismo*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/28a92c0e-9b69-4df8-afb7-9bd811b9a639/content>
- Dwevedi, A., & Kayastha, A. M. (2011). Soybean: A multifaceted legume with enormous economic capabilities. (Ng, Ed.), Soybean - Biochemistry, Chemistry and Physiology. Ng. DOI: 10.5772/15505 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). *FAOSTAT: Base de datos estadística de la FAO*. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Figueira, S. R. F., & Galache, V. O. (2023). Análise comparativa da competitividade das exportações de soja em grão do Brasil, Estados Unidos e Argentina. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 61(1), e245403. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.245403>
- García-Fernández, F., Domínguez Jardines, A. L., & Galván Vera, A. (2018). *Cadena de valor y sistema de innovación de la soja en el noreste de México*. Ciudad México: COLOFON/UAT.
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and Practice*. Disponible en: <https://robjhyndman.com/uwafiles/fpp-notes.pdf>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2022). *Informe anual de 2021 del IICA*. Disponible en: https://apps.iica.int/SReunionesOG/Content/Documents/CE-2022/cf00fc8b-9051-4258-8053-711abbe54d76_dt741_informe_anual_de_2021_del_iica.pdf
- Infobae. (2024). 2024 será el año de los retos medioambientales para Brasil, desde la emergencia yanomami hasta la deforestación en el Cerrado. Disponible en: <https://www.infobae.com/america/america-latina/2024/01/13/2024-sera-el-ano-de-los-retos-medioambientales-para-brasil-desde-la-emergencia-yanomami-hasta-la-deforestacion-en-el-cerrado/>
- Mesquita, F. C., & Lemos Alves, V. E. (2013). Globalización y transformación del paisaje agrícola en América Latina: las nuevas regiones de expansión de la soja en Brasil y la Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 22(2), 11-42.
- OECD/FAO (2017), *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2017-2026*, OECD Publishing, París. Disponible en: https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-es
- que la soja se consolide como un producto estratégico en su perfil agrícola exportador.
- Una observación relevante es que la mayor parte de las exportaciones de soja de estos países está dirigida a China, que hoy es el mayor importador de soja en el mundo. Este vínculo comercial no solo ha permitido a estos países abastecer la creciente demanda china, sino también expandir su alcance hacia otros mercados internacionales, fortaleciendo así su papel en el comercio agrícola global.
- Además, los resultados reflejan que la soja ha ganado protagonismo en la dinámica exportadora de estas naciones, registrando un crecimiento continuo en las últimas décadas. Factores como el aumento de la productividad agrícola, la expansión de la frontera agrícola y la sostenida demanda internacional han sido determinantes para alcanzar este éxito.
- Sin embargo, es importante reconocer las limitaciones de este estudio. La investigación se centró exclusivamente en las variables de producción, exportación e importación de soja en los tres países mencionados, considerando únicamente el período 1990-2020. Esta delimitación temporal responde a la disponibilidad de datos en las fuentes consultadas, lo que dejó fuera la información de años más recientes. A pesar de esta limitación, el trabajo logra ofrecer una visión integral del rol protagónico que Estados Unidos, Brasil y Argentina desempeñan en el comercio mundial de soja.
- Por último, este estudio abre la puerta a nuevas investigaciones que aborden factores adicionales como los costos logísticos, las políticas comerciales, la sostenibilidad ambiental y los cambios en las tendencias del mercado en los últimos años. Ampliar el análisis hacia estos aspectos permitirá entender mejor los desafíos y oportunidades que enfrenta el comercio global de la soja en un entorno económico y climático cada vez más complejo.

Fin de la versión en español

- R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponible en: <https://www.R-project.org/>
- Trigo, E. J. (2011). *Veinte años de cultivos genéticamente modificados en la agricultura argentina*. Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología (ArgenBio).
- United States Department of Agriculture (USDA) (2020). *FY 2020 agency financial report*. USDA. Disponible en: https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/FY_2020_Agency_Financial_Report.pdf
- United States Department of Agriculture (USDA). (2022). *Soybean exports: The role of the United States in global trade*. Washington, DC: USDA. Disponible en: https://fas.usda.gov/sites/default/files/2023-05/2022-Yearbook_0.pdf
- World Bank. (2018). World Bank Commodities Price Data (The Pink Sheet). Disponible en: <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/283421538517311854-0050022018/original/CMOPinkSheetOctober2018.pdf>



Territorial reconfiguration and rururbanization dynamics in the rural environments of the City of Durango, Mexico

Carlos Alejandro Custodio González^{1*}

Tania Margarita Ortiz Salazar²

Cinthia Ruiz López³

Justino Gerardo González Díaz⁴

Abstract

The logic of accumulation of the current development model has driven processes such as rururbanization, characterized by the interaction of rural and urban elements and practices. The existing literature has focused the analysis and characterization of this process mainly on large metropolises, leaving aside the dynamics and effects it has on medium-sized cities. Under this consideration, the objective of the article was to analyze the physical-spatial, demographic and socio-economic status of the rururbanization process in the context of a medium-sized city, such as Durango, Mexico. To do so, a five-stage methodology was developed, combining spatial methods and multivariate statistics, covering variables such as urban expansion, population growth, socioeconomic structure and road network (1990-2020). A gradient of rururbanization was identified, classifying the localities into four types: 1) traditional agricultural spaces, 2) pluriactive rural spaces with low urban development, 3) spaces in the process of economic diversification and 4) rururban spaces.

Keywords: Socio-territorial phenomenon, rural-urban relationship, medium-sized cities, Multiple Correspondence Analysis.

Reconfiguración territorial y dinámicas de rururbanización en los entornos rurales de la Ciudad de Durango, México

Resumen

La lógica de acumulación del actual modelo de desarrollo ha impulsado procesos como la rururbanización, caracterizada por la interacción de elementos y prácticas rurales y urbanas. La literatura existente ha centrado el análisis y caracterización de este proceso principalmente en las grandes metrópolis, dejando de lado la dinámica y los efectos que tiene en ciudades medias. Bajo esta consideración, el artículo tuvo por objetivo analizar el estado físico-espacial, demográfico y socioeconómico del proceso de rururbanización en el contexto de una ciudad media, como es el caso de Durango, México. Para ello, se desarrolló una metodología en cinco etapas, combinando métodos espaciales y estadística multivariada, abarcando variables como expansión urbana, crecimiento demográfico, estructura socioeconómica y red vial (1990-2020). Se identificó un gradiente de rururbanización, clasificando las localidades en cuatro tipos: 1) espacios agrícolas tradicionales, 2) espacios rurales pluriactivos con poco desarrollo urbano, 3) espacios en proceso de diversificación económica y 4) espacios rururbanos.

Palabras clave: Fenómeno socioterritorial, relación rural-urbana, ciudades medias, análisis de correspondencias múltiples.

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, Gestión Territorial. México.

²Cusal Consultores. México.

³Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, México.

⁴Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Tenancingo, México.

*Corresponding author: carloscustodio@sociales.unam.mx

Introduction

The current development model, with its dynamics of capital and resource accumulation, has generated processes that influence the organization and transformation of geographic space (Ortiz Montero & Hernández Peña, 2015), blurring the traditional dichotomous approaches between countryside and city. This transformation responds to phenomena such as population growth, change in land use, increase in land value, housing need, pressure on public services, reduction of productive agricultural land, tertiarization of rural areas, loss of forest cover and biodiversity, and degradation of water bodies (Macuacé Otero, 2019; Bernal Sánchez & Hernández Peña, 2022; Guzmán Chávez et al., 2022; Bautista, 2023; Ochoa Céspedes, 2023).

These phenomena have progressively and rapidly modified productive activities, employment, social relationships, cultural expressions and the social reproduction strategies of thousands of people (Martner, 2016). These new territorial configurations imply a theoretical redefinition in the way of explaining and understanding the interaction between rural and urban spaces. In this context, since the mid 1990s, scholars of these environments, both in Mexico and in Latin America, raised the need for new perspectives which consider the complex interactions between rural and urban areas within the framework of neoliberal globalization (Velásquez Hernández & López Romero, 2021). These visions were grouped under the new rurality approach (Rosas-Baños, 2013).

In the conceptual framework of the new rurality, one of the key theoretical tools is the rururban category. This concept describes the transformation of spaces where countryside elements and the city coexist and interact. It arises from the expansion of activities and population from urbanized areas to their surroundings, without the latter completely losing their economic, social or cultural characteristics (Velásquez Hernández & López Romero, 2021; Bernal Sánchez & Hernández Peña, 2022). The effects of this process generate a dispersed and discontinuous socio-spatial network, configuring a continuum landscape in which multiple dynamics converge (Bautista, 2023).

Rururbanization has intensified pressure on ecosystem assets, generating environmental tensions,

Introducción

El actual modelo de desarrollo, con su dinámica de acumulación de capital y recursos, ha generado procesos que influyen en la organización y transformación del espacio geográfico (Ortiz Montero & Hernández Peña, 2015), desdibujando los tradicionales enfoques dicotómicos entre campo y ciudad. Esta transformación responde a fenómenos como el crecimiento poblacional, cambio en el uso del suelo, aumento del valor de la tierra, necesidad de vivienda, presión sobre servicios públicos, reducción de tierras agrícolas productivas, terciarización de los espacios rurales, pérdida de cobertura forestal y biodiversidad, y degradación de cuerpos de agua (Macuacé Otero, 2019; Bernal Sánchez & Hernández Peña, 2022; Guzmán Chávez et al., 2022; Bautista, 2023; Ochoa Céspedes, 2023).

Dichos fenómenos han modificado de manera progresiva y acelerada las actividades productivas, empleo, relaciones sociales, expresiones culturales y las estrategias de reproducción social de miles de personas (Martner, 2016). Estas nuevas configuraciones territoriales implican una redefinición teórica en la forma de explicar y comprender la interacción entre los espacios rurales y urbanos. En este contexto, desde mediados de la década de los 90, los estudiosos de estos entornos, tanto en México como en América Latina, plantearon la necesidad de nuevas perspectivas que consideraran las complejas interacciones entre lo rural y lo urbano en el marco de la globalización neoliberal (Velásquez Hernández & López Romero, 2021), estas visiones se agruparon bajo el enfoque de la nueva ruralidad (Rosas-Baños, 2013).

En el marco conceptual de la nueva ruralidad, una de las herramientas teóricas clave es la categoría rururbano. Este concepto describe la transformación de los espacios donde coexisten e interactúan elementos propios del campo y la ciudad. Surge a partir de la expansión de actividades y población provenientes de áreas urbanizadas hacia sus alrededores, sin que estos últimos pierdan completamente sus rasgos económicos, sociales o culturales (Velásquez Hernández & López Romero, 2021; Bernal Sánchez & Hernández Peña, 2022). Los efectos de este proceso generan un tejido socioespacial disperso y discontinuo, configurando un continuum paisajístico en el que convergen múltiples dinámicas (Bautista, 2023).

pollution, and disputes over access to land, infrastructure, and public services (Lilli, 2021; Cahe & de Prada, 2022). Furthermore, the occupation of fertile lands compromises food safety (Abu Hatab et al., 2019). These transformations are key to understanding sociodemographic, productive, and environmental changes in the rural-urban continuum, especially in medium-sized cities, where research has been less frequent compared to that of large metropolises (Jiménez Barrado & Campesino Fernández, 2018; Bautista, 2023).

On the basis of these arguments, the following research question arises: What are the socio-territorial reconfigurations derived from rururbanization in a medium-sized city? To answer it, the article analyzes the physical-spatial, demographic and socio-economic status of this process in Durango, Mexico, between 1990 and 2020. The document is organized into five sections: the first addresses the theoretical evolution of the rural-urban relationship; the second describes the methodology; the third presents the findings on urban expansion, population dynamics, socioeconomics and the road network, identifying a gradient of rururbanization; the fourth examines the structural characteristics of this dynamic; and the fifth presents the main conclusions.

Some conceptual notes on the rural-urban relationship

This section provides an overview of the evolution of the theoretical approach to the rural-urban relationship, without attempting to exhaust its broad conceptual scope. Since the 18th century, the theoretical approach focused on the opposition between social, cultural and productive practices in both spaces (Macuacé Otero, 2019), where the main connection was the commercial exchange of agricultural products to supply the urban population (van Vliet et al., 2020). After the Second World War, development promoted policies to replicate the industrial and urban model in less advanced countries, spurring rural migration to cities for jobs, services and education. In this context, studies on the rural-urban relationship began to focus on migratory processes and their demographic, social, economic and cultural effects (Rivero Herrero, 2018).

The concentration of population and socioeconomic activities in urban spaces caused inequality in

La rururbanización ha intensificado la presión sobre los bienes ecosistémicos, generando tensiones ambientales, contaminación y disputas por el acceso a la tierra, infraestructura y servicios públicos (Lilli, 2021; Cahe & de Prada, 2022). Además, la ocupación de tierras fértiles compromete la seguridad alimentaria (Abu Hatab et al., 2019). Estas transformaciones son clave para comprender los cambios sociodemográficos, productivos y ambientales en el continuum rural-urbano, especialmente en ciudades medias, donde la investigación ha sido menos frecuente en comparación con grandes metrópolis (Jiménez Barrado & Campesino Fernández, 2018; Bautista, 2023).

Con base en estos argumentos, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las reconfiguraciones socioterritoriales derivadas de la rururbanización en una ciudad de tamaño medio? Para responderla, el artículo analiza el estado físico-espacial, demográfico y socioeconómico de este proceso en Durango, México, entre 1990 y 2020. El documento se organiza en cinco secciones: la primera aborda la evolución teórica de la relación rural-urbana; la segunda describe la metodología; la tercera presenta los hallazgos sobre la expansión urbana, la dinámica poblacional, socioeconómica y la red vial, identificando un gradiente de rururbanización; la cuarta examina las características estructurales de esta dinámica; y la quinta expone las principales conclusiones.

Algunos apuntes conceptuales sobre la relación rural-urbana

Esta sección ofrece una visión sobre la evolución del abordaje teórico de la relación rural-urbana, sin pretender agotar su amplio recorrido conceptual. Desde el siglo XVIII, el enfoque teórico se centró en la oposición entre prácticas sociales, culturales y productivas de ambos espacios (Macuacé Otero, 2019), donde la principal conexión era el intercambio comercial de productos agrícolas para abastecer a la población urbana (van Vliet et al., 2020). Tras la Segunda Guerra Mundial, el desarrollo promovió políticas para replicar el modelo industrial y urbano en países menos avanzados, lo que impulsó la migración campesina hacia las ciudades en busca de empleo, servicios y educación. En este contexto, los estudios sobre la relación rural-urbana comenzaron a centrarse en los procesos migratorios y sus efectos demográficos,

access to infrastructure and services (Martner, 2016). At the same time, it promoted productive expansion towards peripheral areas, increasing the demand for land and water, and accelerating environmental degradation (Bautista, 2023). This process reconfigured rural-urban links by expanding urban productive practices, reducing the functional distance between both spaces and transforming the landscape, social composition and productive patterns (Ochoa Céspedes, 2023). The agricultural crisis and the lack of state government support promoted strategies such as income diversification, the feminization of agricultural labor and the shift towards non-agricultural activities (Román-Montes de Oca et al., 2020). Likewise, the arrival of urban agents to the countryside, driven by the land market, accelerated the sociocultural and economic transformation of rural communities.

The distinction between rural and urban has evolved towards a logic of blurred borders, due to the constant circulation of people, goods, services and information (Guzmán Chávez et al., 2022). These interconnections, framed in global and local dynamics, make their conceptual differentiation difficult (Chen & Pow, 2023). For this reason, several studies give priority to the analysis of the socio-spatial relationship resulting from this interaction, rather than considering both spaces as separate realities (Smith et al., 2018). From this perspective, rururbanized spaces are areas of hybrid, dynamic and multifunctional identities, where productive and sociocultural agents and activities are intertwined, incorporating urban functions in rural areas and viceversa (Velázquez Hernández & López Romero, 2021). This process manifests itself in a spatial gradient or geographic continuum that reflects economic, political, social and cultural transitions (Macuacé Otero, 2019; Ortiz Montero & Hernández Peña, 2015), creating new hybrid forms of territory and territoriality.

Methodology

The methodological design of the research consisted of five stages. The first stage quantified the expansion in the rural-urban transition zone of Durango (1990-2020) through changes in land cover and soil type. Spatial analysis techniques were used with INEGI data (1990, 2000, 2010 and 2020) processed in ArcGIS, following these steps: 1) reprojection of soil and

sociales, económicos y culturales (Rivero Herrero, 2018).

La concentración de población y actividades socioeconómicas en espacios urbanos provocó desigualdad en el acceso a infraestructura y servicios (Martner, 2016). A la par, impulsó la expansión productiva hacia áreas periféricas, aumentando la demanda de suelo y agua, y acelerando la degradación ambiental (Bautista, 2023). Este proceso reconfiguró los vínculos rural-urbanos al expandir prácticas productivas urbanas, reduciendo la distancia funcional entre ambos espacios y transformando el paisaje, la composición social y las pautas productivas (Ochoa Céspedes, 2023). La crisis agrícola y la falta de apoyo estatal impulsaron estrategias como la diversificación de ingresos, la feminización del trabajo agrícola y el desplazamiento hacia actividades no agrícolas (Román-Montes de Oca et al., 2020). Asimismo, la llegada de actores urbanos al campo, impulsada por el mercado de tierras, aceleró la transformación sociocultural y económica de las comunidades rurales.

La distinción entre lo rural y lo urbano ha evolucionado hacia una lógica de fronteras difusas, debido a la constante circulación de personas, bienes, servicios e información (Guzmán Chávez et al., 2022). Estas interconexiones, enmarcadas en dinámicas globales y locales, dificultan su diferenciación conceptual (Chen & Pow, 2023). Por ello, diversos estudios priorizan el análisis de las relaciones socioespaciales resultantes de esta interacción, en lugar de considerar ambos espacios como realidades separadas (Smith et al., 2018). Desde esta perspectiva, los espacios rururbanizados son ámbitos de identidades híbridas, dinámicos y multifuncionales, donde actores y actividades productivas y socioculturales se entrelazan, incorporando funciones urbanas en áreas rurales y viceversa (Velázquez Hernández & López Romero, 2021). Este proceso se manifiesta en un gradiente espacial o continuum geográfico que refleja transiciones económicas, políticas, sociales y culturales (Macuacé Otero, 2019; Ortiz Montero & Hernández Peña, 2015), conformando nuevas formas híbridas de territorio y territorialidad.

Metodología

El diseño metodológico de la investigación consistió de cinco etapas. La primera etapa cuantificó la

vegetation layers to ensure geographic consistency; 2) calculation of the surface area in two categories: human settlement and agriculture; 3) creation of the urban sprawl map by superimposing the categories at the four analyzed moments.

The second methodological stage demographically characterized the Basic Geostatistical Areas (AGEB by its Spanish acronym) and localities of the rural-urban area of Durango. Population growth is a key indicator of urban expansion, revealing migratory trends and demand for services (Michel & Ribardièrre, 2017; Cahe & de Prada, 2022). Information was collected from the Population and Housing Censuses of 1990, 2000, 2010 and 2020, calculating the growth rates for each period. The third stage analyzed the socioeconomic structure of the AGEB and localities using the modified Location Coefficient (Palacio Prieto et al., 2004), which measures the relevance of each sector (García Castro & Carranco Gallardo, 2008).

$$Q_{ij} = \left(\frac{e_i}{e_t}\right) \div \left(\frac{E_i}{E_t}\right)$$

- Where e_i is the population employed in sector i of the locality;
- and t represents the total employed population of the locality;
- E_i is the population employed in sector i of the State;
- E_t represents the total employed population of the State.

The values that the indicator can have are the following:

- $Q_{it} = 1$, when the relative size of sector i in locality t is identical to the relative size of the same sector at the state level. In this case there is no localization of this activity;
- $Q_{ij} < 1$, when the relative size of sector i in locality t is smaller than the relative size of the same sector at the state level. In this case there is no localization of this activity;
- $Q_{ij} > 1$, when the relative size of sector i in locality t is larger than the relative size of the same sector at the state level.

The indicator was calculated for 1990 and 2000 based on information obtained from the Popula-

expansión en la franja de transición rural-urbana de Durango (1990-2020) mediante cambios en cobertura y tipo de suelo. Se usaron técnicas de análisis espacial con datos del INEGI (1990, 2000, 2010 y 2020) procesados en ArcGIS, siguiendo estos pasos: 1) reproyección de capas de suelo y vegetación para asegurar consistencia geográfica; 2) cálculo de la superficie en dos categorías: asentamiento humano y agricultura; 3) creación del mapa de la mancha urbana superponiendo las categorías en los cuatro momentos analizados.

La segunda etapa metodológica caracterizó demográficamente las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) y localidades del área rural-urbana de Durango. El crecimiento poblacional, es un indicador clave de la expansión urbana, revela tendencias migratorias y demanda de servicios (Michel & Ribardièrre, 2017; Cahe & de Prada, 2022). Se recopiló información de los Censos de Población y Vivienda de 1990, 2000, 2010 y 2020, calculando las tasas de crecimiento para cada periodo. La tercera etapa analizó la estructura socioeconómica de las AGEB y localidades mediante el Coeficiente de Localización modificado (Palacio Prieto et al., 2004), que mide la relevancia de cada sector (García Castro & Carranco Gallardo, 2008).

$$Q_{ij} = \left(\frac{e_i}{e_t}\right) \div \left(\frac{E_i}{E_t}\right)$$

- Donde e_i es la población ocupada en el sector i de la localidad;
- e_t representa la población ocupada total de la localidad;
- E_i es la población ocupada en el sector i del Estado;
- E_t representa la población ocupada total del Estado.

Los valores que puede tener el indicador son los siguientes:

- $Q_{it} = 1$, cuando el tamaño relativo del sector i en la localidad t es idéntico al tamaño relativo del mismo sector a nivel estatal. En este caso no hay localización de esta actividad;
- $Q_{ij} < 1$, cuando el tamaño relativo del sector i en la localidad t es menor al tamaño relativo del mismo sector a nivel estatal. En este caso no hay localización de esta actividad;

tion and Housing Censuses (INEGI by its Spanish acronym), specifically in the settlement characteristics section, which includes data on the economically active population. However, due to the level of disaggregation available, socioeconomic characterization could only be carried out at the local level. It should be noted that, for the 2010 and 2020 censuses, the economically active population by variable sector was replaced by a nominal qualitative category which describes the predominant economic activity in each settlement.

The fourth methodological phase characterized the road network of the rural-urban area of Durango, which is key to understanding the territorial configuration and its economic functionality (Martínez et al., 2014). Two attributes were analyzed: connectivity and accessibility. The beta index (β), defined as the number of roads over the number of nodes, measured the level of connection; a value of 0 indicates a zero network, 1 a single-circuit network, and more than 1 a complex network (Bautista, 2018).

Accessibility assesses the ease of reaching different nodes from a specific point in the network (Loyola & Rivas, 2014). Points with a higher hierarchy have lower accessibility values. A binary table of topological accessibility is built, where a value of 1 is assigned if there is a path between two points and 0 if there is no connection. This representation allows obtaining descriptive indicators, such as the Associated Number (NS), which measures the topological distance in terms of the number of arcs needed to reach the most distant point by the shortest path. A low NS value indicates larger accessibility (Cardozo et al., 2009).

The fifth phase integrated demographic, socioeconomic and road network variables to build the rururbanization gradient in Durango. Multiple Correspondence Analysis (MCA) was used, a statistical technique that identifies similarities between categories of variables and visualizes relationships in a positioning map (Regueiro Ferreira & Sánchez Sello, 2015; Algañaraz Soria, 2016). The analysis was performed with RStudio 3.6.0 and, with the highest inertia values, a thematic gradient map was generated using IDW (Inverse Distance Weighting), an interpolation technique used in Geographic Information Systems.

- $Q_{ij} > 1$, cuando el tamaño relativo del sector i en la localidad t es mayor al tamaño relativo del mismo sector a nivel estatal.

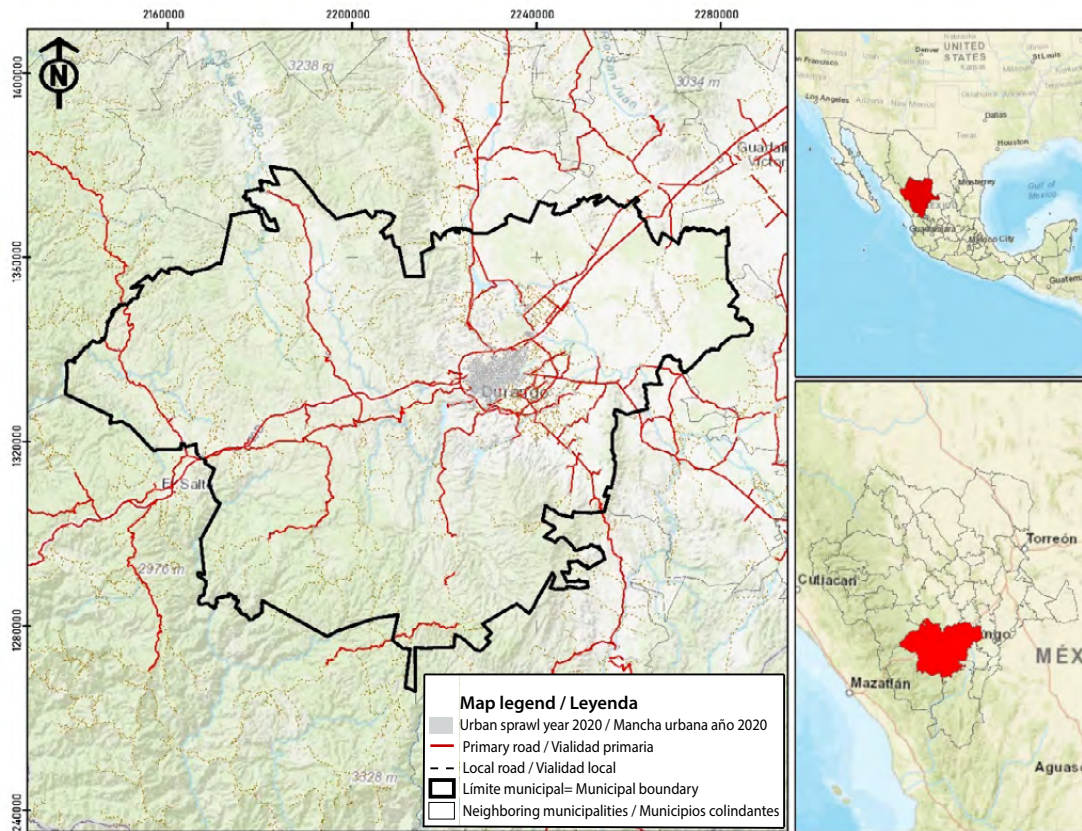
El indicador se calculó para 1990 y 2000 con base en la información del INEGI, obtenida de los Censos de Población y Vivienda, específicamente en la sección de características de los asentamientos, que incluye datos sobre la población económicamente activa. No obstante, debido al nivel de desagregación disponible, la caracterización socioeconómica solo pudo realizarse a escala local. Cabe señalar que, para los censos de 2010 y 2020, la variable de población económicamente activa por sector fue sustituida por una categoría cualitativa nominal que describe la actividad económica predominante en cada asentamiento.

La cuarta fase metodológica caracterizó la red vial del área rural-urbana de Durango, clave para comprender la configuración territorial y su funcionalidad económica (Martínez et al., 2014). Se analizaron dos atributos: conectividad y accesibilidad. El índice beta (β), definido como el número de vías sobre el número de nodos, midió el nivel de conexión; un valor de 0 indica red nula, 1 una red de un solo circuito, y más de 1 una red compleja (Bautista, 2018).

La accesibilidad evalúa la facilidad de alcanzar diferentes nodos desde un punto específico de la red (Loyola & Rivas, 2014). Los puntos de mayor jerarquía presentan valores más bajos de accesibilidad. Se construye una tabla binaria de accesibilidad topológica, donde se asigna un valor de 1 si existe una vía entre dos puntos y 0 si no hay conexión. Esta representación permite obtener indicadores descriptivos, como el Número Asociado (NS), que mide la distancia topológica en términos del número de arcos necesarios para alcanzar el punto más distante mediante el camino más corto. Un valor bajo de NS indica una mayor accesibilidad (Cardozo et al., 2009).

La quinta fase integró las variables demográficas, socioeconómicas y de la red vial para construir el gradiente de rururbanización en Durango. Se empleó el Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM), una técnica estadística que identifica similitudes entre categorías de variables y visualiza relaciones en un mapa de posicionamiento (Regueiro Ferreira & Sánchez Sello, 2015; Algañaraz Soria, 2016). El análisis se realizó con RStudio 3.6.0 y, con los valores de iner-

Figure 1. Location of the city of Durango, México.
 Figura 1. Localización de la ciudad de Durango, México.



Source: Self-made, based on National Geostatistical Framework (INEGI, 2020).
 Fuente: Elaboración propia con datos del Marco Geostadístico Nacional (INEGI, 2020).

Results

Area of study

Durango (Victoria de Durango) is the political capital of the state of the same name, located at the western end of the Guadiana Valley, north of Mexico and the Mesa del Centro (Figure 1). With a population of 696,617 inhabitants (INEGI, 2020), it is the most populated municipality in the state and classified as a medium-sized city according to McFarland (2017), having between 500 thousand and 1 million inhabitants. Functionally, Durango acts as a service hub, integrating microregions of municipalities such as Vicente Guerrero, Guadalupe Victoria, Pueblo Nuevo, San Juan del Río, Nueva Ideal and Santiago Papasquiari.

Dynamics of urban expansion in the rural-urban area of the city of Durango, 1990-2020

Urban expansion in Durango has increased by 10,606 hectares in the last 30 years, representing a growth

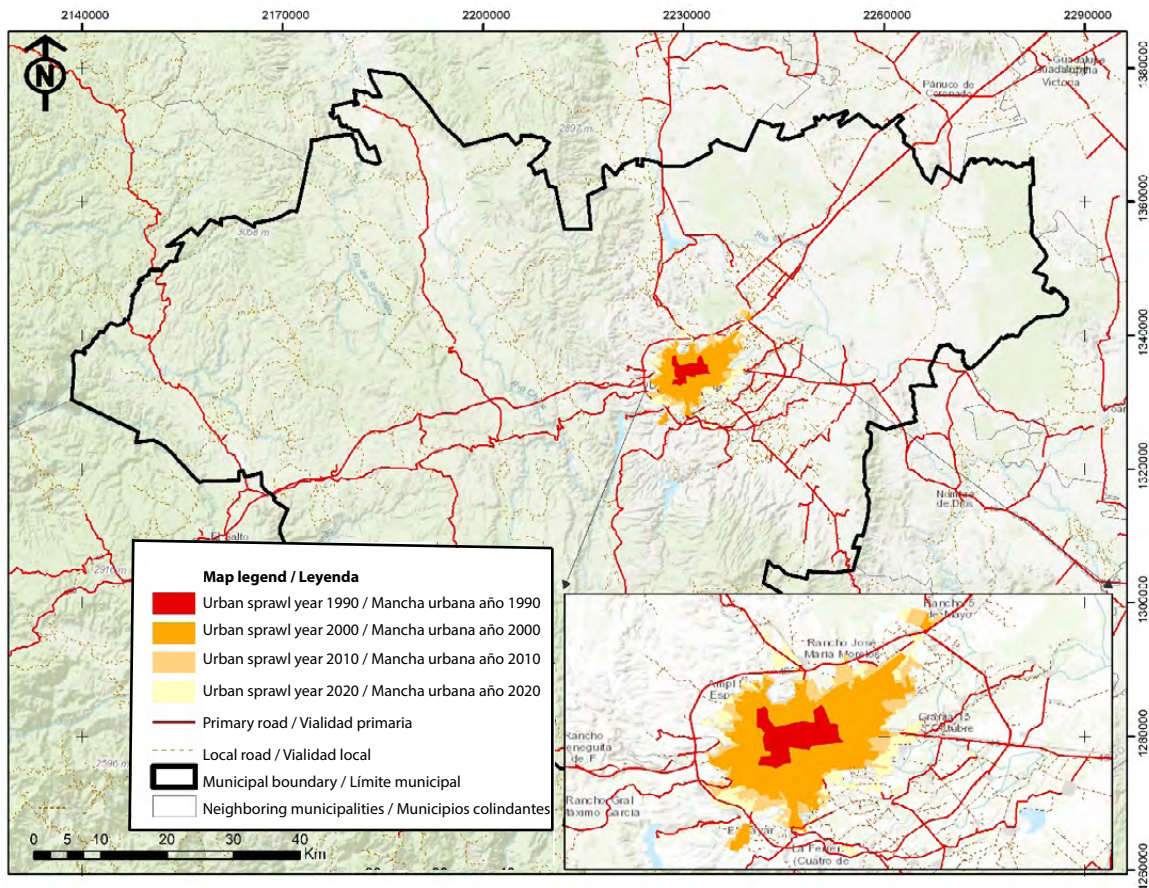
cia más altos, se generó un mapa temático del gradiente utilizando IDW (Inverse Distance Weighting), una técnica de interpolación empleada en Sistemas de Información Geográfica.

Resultados

Área de estudio

Durango (Victoria de Durango) es la capital política del estado homónimo, ubicada en el extremo oeste del valle del Guadiana, al norte de México y la Mesa del Centro (Figura 1). Con una población de 696,617 habitantes (INEGI, 2020), es el municipio más poblado del estado y se clasifica como ciudad media según McFarland (2017), al tener entre 500 mil y 1 millón de habitantes. Funcionalmente, Durango actúa como un núcleo de servicios, integrando microrregiones de municipios como Vicente Guerrero, Guadalupe Victoria, Pueblo Nuevo, San Juan del Río, Nueva Ideal y Santiago Papasquiari.

Figure 2. Evolution of urban expansion in the area of study for the years 1990-2020.
Figura 2. Evolución de la expansión urbana en el área de estudio para los años 1990-2020.



Source: self-made, based on National Geostatistical Framework (INEGI, 2020) data.
 Fuente: Elaboración propia con datos del Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2020).

of 8.8% compared to the urban area of the base year. This increase has not been constant,

with three distinct periods being identified: from 1990 to 2000, there was the largest increase with a rate of 17.9%; from 2000 to 2010, growth was lower, with a rate of 2.8%; finally, from 2010 to 2020, the increase was 5.6%. 98% of urban expansion in Durango occurred on agricultural land during the study period. It is worth mentioning that 48% of urbanization occurred in the first decade.

Population changes in the rural-urban area of the City of Durango, 1990-2020

According to the Population and Housing Census, the growth rate in the area of study reached 1.73% in the last 30 years, exceeding the 1.32% recorded at the national level in the same period. However, the demographic evolution shows different patterns that are grouped into four categories: 1) considerable

Dinámica de la expansión urbana sobre la franja rural-urbana de la ciudad de Durango, 1990-2020

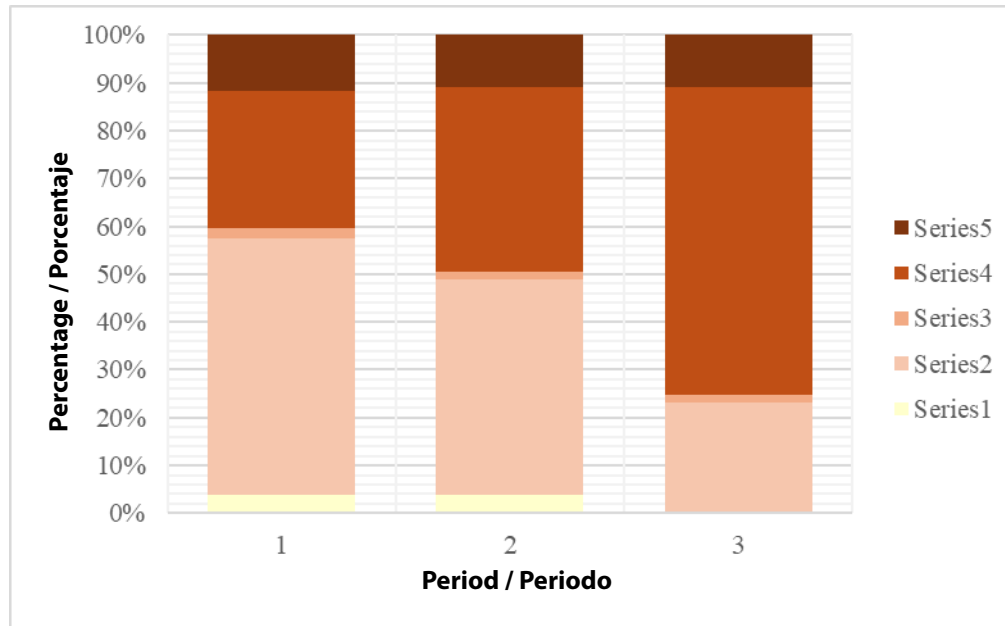
La expansión urbana de Durango ha incrementado en 10 606 hectáreas en los últimos 30 años, representando un crecimiento del 8.8 % respecto a la superficie urbana del año base. Este aumento no ha sido constante, identificándose tres periodos distintos: de 1990 a 2000, hubo el mayor aumento con una tasa del 17.9 %; de 2000 a 2010, el crecimiento fue menor, con una tasa del 2.8 %; finalmente, de 2010 a 2020, el aumento fue del 5.6 %. El 98 % de la expansión urbana en Durango, se desplegó sobre terrenos agrícolas, durante el periodo de estudio, cabe mencionar que en la primera década ocurrió el 48 % de la urbanización.

Cambios poblacionales en la franja rural-urbana de la Ciudad de Durango, 1990-2020

De acuerdo con los Censos de Población y Vivienda, la tasa de crecimiento en el área de estudio alcanzó

Figure 3. Evolution of the population growth rate in the localities and AGEB's of the rural-urban area of the city of Durango, 1990-2020.

Figura 3. Evolución de la tasa de crecimiento poblacional en las localidades y AGEB's del área rural-urbana de la ciudad de Durango, 1990-2020.



Source: Self-made, based on the Population and Housing Censuses 1990, 2000, 2010, 2020, carried out by INEGI data.
Fuente: Elaboración propia a partir de los Censos de Población y Vivienda 1990, 2000, 2010, 2020, realizados por INEGI.

reduction (greater than -1.00%), 2) slight decrease (from -0.001 to -0.65%), 3) stability and 4) moderate growth. Figure 3 shows two central processes in demographic dynamics. The first is the reduction in the number of inhabitants in several communities. In 1990, 53.5% of the settlements registered a decrease, this figure was reduced to 23.3 % in 2020, associated with migratory flows. At the national level, Durango ranks 22nd in terms of expulsion of people to other regions, while at the municipal level, it concentrated 36.7% of those who emigrated between 1995 and 2020 (SEGOB, 2022). The second process is the moderate increase in inhabitants in AGEB's and population centers close to the city, a phenomenon linked to rururbanization.

Socioeconomic transformations in the rural-urban area of the City of Durango, 1990-2020

Figure 4 shows that the socioeconomic evolution of the last thirty years has had two phases in the production structure of the localities. From 1990 to 2000, most of them based their productive strategy on pluriactivity, combining the primary and secondary sectors. In 1990, this combination was present in

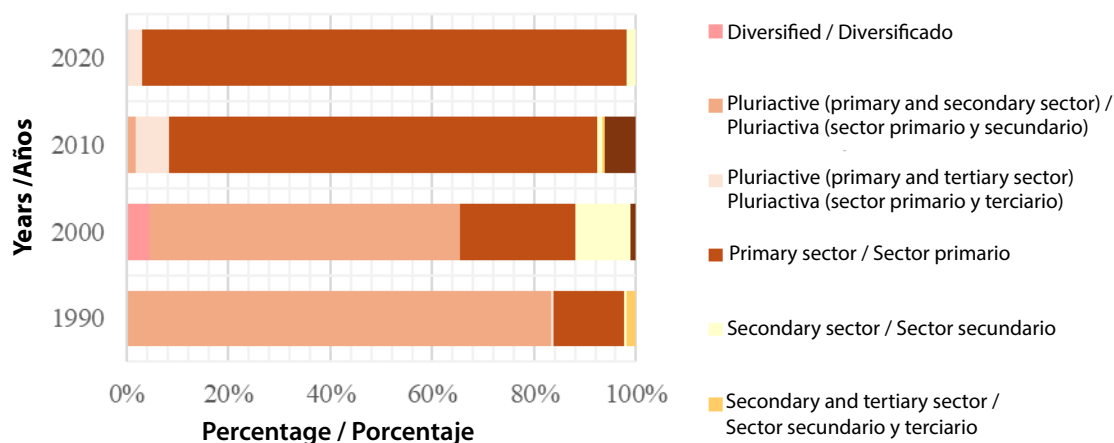
el 1.73 % en los últimos 30 años, superando el 1.32 % registrado a nivel nacional en el mismo período. Sin embargo, la evolución demográfica muestra patrones diferenciados que se agrupan en cuatro categorías: 1) reducción considerable (mayor al -1.00 %), 2) disminución leve (de -0.001 a -0.65 %), 3) estabilidad y 4) crecimiento moderado. La Figura 3 evidencia dos procesos centrales en la dinámica demográfica. El primero es la reducción del número de habitantes en diversas comunidades. En 1990, el 53.5 % de los asentamientos registraron una disminución, cifra que se redujo al 23.3 % en 2020, asociada a los flujos migratorios. A nivel nacional, Durango ocupa el puesto 22 en términos de expulsión de personas hacia otras regiones, mientras que, a escala municipal, concentró al 36.7 % de quienes emigraron entre 1995 y 2020 (SEGOB, 2022). El segundo proceso es el incremento moderado de habitantes en AGEB's y núcleos poblacionales cercanos a la ciudad, fenómeno vinculado a la rururbanización.

Transformaciones socioeconómicas en la franja rural-urbana de la Ciudad de Durango, 1990-2020

La Figura 4, muestra que la evolución socioeconómica de los últimos treinta años tuvo dos fases en la es-

Figure 4. Evolution of the main economic activity in the localities of the rural-urban area of the city of Durango, 1990-2020.

Figura 4. Evolución de la principal actividad económica en las localidades del área rural-urbana de la ciudad de Durango, 1990-2020.



Source: Self-made, based on the Population and Housing Censuses 1990, 2000, 2010, 2020, carried out by INEGI data.
Fuente: Elaboración propia a partir de los Censos de Población y Vivienda 1990, 2000, 2010, 2020, realizados por INEGI.

83.33% of the cases, decreasing to 60.79% in 2000. The communities focused exclusively on the primary sector represented 13.69% in 1990 and 22.72% in 2000. In addition, the secondary sector grew in importance, from 0.6% in 1990 to 10.8% in 2000.

The second period, from 2010 to 2020, shows a transition in localities towards a productive approach focused on the primary sector, with a notable reduction in pluriactivity. This reflects a dynamic of rururbanization where previously diversified rural areas are once again focusing on agriculture and other primary activities. However, these results could be influenced by methodological changes in the 2010 and 2020 Censuses, where the variable of economically active population by sector was replaced by a nominal qualitative description of the main activity. This modification is an important limitation of the study, highlighting the need to verify these findings in the field.

Structural characteristics of the road network

Between 1990 and 2020, road infrastructure in Durango increased from 767 to 990 km, covering 2.84% of the municipal area. The average Beta Index (β) of 3.55 indicates a complex network. At the local level, six connectivity categories were identified: very high, high, medium, low, very low and zero. Table 1 shows

estructura productiva de las localidades. De 1990 a 2000, la mayoría basaba su estrategia productiva en la pluriactividad, combinando los sectores primario y secundario. En 1990, esta combinación estaba presente en el 83.33% de los casos, disminuyendo al 60.79% en 2000. Las comunidades enfocadas exclusivamente en el sector primario representaban el 13.69% en 1990 y el 22.72% en 2000. Además, el ámbito secundario ganó importancia, pasando del 0.6% en 1990 al 10.8% en 2000.

El segundo período que abarca del 2010 a 2020, evidencia una transición en las localidades hacia un enfoque productivo centrado en el sector primario, con una reducción notable de la pluriactividad. Esto refleja una dinámica de rururbanización donde las áreas rurales, previamente diversificadas, se enfocan nuevamente en la agricultura y otras actividades primarias. Sin embargo, estos resultados podrían estar influenciados por cambios metodológicos en los Censos de 2010 y 2020, donde se reemplazó la variable de población económicamente activa por sector por una descripción cualitativa nominal de la actividad principal. Esta modificación es una limitante importante del estudio, resaltando la necesidad de verificar estos hallazgos en campo.

Características estructurales de la red vial

Entre 1990 y 2020, la infraestructura vial en Durango aumentó de 767 a 990 km, cubriendo el 2.84% de la

Table 1. Categories of road network connectivity in the municipality of Durango, México**Cuadro 1. Categorías de conectividad de la red vial en el municipio de Durango, México**

Degree of connectivity / Grado de conectividad	Number of localities by category / Número de localidades por categoría	Percentage by category of degree of connectivity / Porcentaje por categoría de grado de conectividad
Zero connectivity / Conectividad nula	187	38.6
Very low connectivity / Muy baja conectividad	84	17.3
Low connectivity / Baja conectividad	85	17.5
Medium connectivity / Conectividad media	55	11.3
High connectivity / Alta conectividad	25	5.2
Very high connectivity / Muy alta conectividad	49	10.1
Total	485	100.0

Source: Self-made. / Fuente: Elaboración propia.

Table 2. Accessibility categories of the road in the municipality of Durango, México**Cuadro 2. Categorías de accesibilidad de la red vial en el municipio de Durango, México**

Accessibility degree /	Number of locations by category / Número de localidades por cate- goría	Percentage by category of connectivity degree / Porcentaje por categoría de grado de conectividad
Very low accessibility / Muy baja accesibilidad	130	26.8
Low accessibility / Baja accesibilidad	120	24.7
Medium accessibility / Accesibilidad media	108	22.3
High accessibility / Alta accesibilidad	17	3.5
Very high accessibility / Muy alta accesibilidad	110	22.7
Total	485	100.0

Source: Self-made. / Fuente: Elaboración propia.

that the majority lack connection localities (38.6%), followed by those with very low and low accessibility, with 17.3 and 17.5%, respectively, located in areas far from the urban area of the City of Durango.

The associated number shows an average value of 0.20, indicating a high mobility potential. However, accessibility varies throughout the municipality of Durango, distributed in five categories: very low, low, medium, high and very high. According to Table 2, most localities are in the very low category, with 26.8%, followed by low, medium and very high. The localities with the greatest connection are closer to the city of Durango, while those with very low connection are located in the distant periphery, which limits their mobility potential.

Gradient of rururbanization from Multiple Correspondence Analysis

The results of the ACM demonstrate its statistical relevance (Table 3), since the Chi-square values are

superficie municipal. El Índice Beta (β) promedio de 3.55 indica una red compleja. A nivel local, se identificaron seis categorías de conectividad: muy alta, alta, media, baja, muy baja y nula. El Cuadro 1 muestra que la mayoría de las localidades carecen de conexión (38.6 %), seguidas de aquellas con accesibilidad muy baja y baja, con el 17.3 y 17.5 %, respectivamente, situándose en zonas alejadas de la mancha urbana de la Ciudad de Durango.

El número asociado muestra un valor promedio de 0.20, indicando un alto potencial de movilidad. Sin embargo, la accesibilidad varía a lo largo del municipio de Durango, distribuyéndose en cinco categorías: muy baja, baja, media, alta y muy alta. Según el Cuadro 2, la mayoría de las localidades están en la categoría de muy baja, con un 26.8%, seguidas por baja, media y muy alta. Las localidades con mayor vinculación están más cercanas a la ciudad de Durango, mientras que aquellas con muy baja articulación

Table 3. Model summary and total inertia for each dimension
Cuadro 3. Resumen del modelo e inercia total por cada dimensión

Dimension / Dimensión	Chi-Squared / Chi-Cuadrado	p value / p valor	Self worth / Auto valor	Inertia / Inercia	Inertia proportion / Proporción de inercia	
					Explained Explicada	Accumulated / Acumulada
1	307.80	0.007	13.25	.576	57.64	57.64
2	279.30	0.003	10.37	.351	35.10	92.74

Source: Self-made. / Fuente: Elaboración propia.

Table 4. Inertia contributions by category.
Cuadro 4. Contribuciones de inercia por categoría.

Variable / Variable	Category / Categoría	Inertia by dimension / Inercia por dimensión	
		1	2
Population growth / Crecimiento población	Slight decrease / Decremento leve	-0.26	-0.08
	Population stability / Estabilidad poblacional	0.52	0.30
	Moderate Increase / Incremento moderado	-0.33	0.14
	SD	0.57	-0.18
Socioeconomic dynamics / Dinámica socioeconómica	Pluriactive (primary and tertiary sector) / Pluriactiva (sector primario y terciario)	-0.04	0.57
	SD	0.37	-0.20
	Primary sector / Sector Primario	-0.30	0.13
	Secondary sector / Sector secundario	0.22	0.81
	Low connectivity / Baja conectividad	0.54	-0.02
	High connectivity / Conectividad alta	-0.60	0.41
	Medium connectivity / Conectividad media	-0.99	0.58
Connectivity degree / Grado de conectividad	Zero connectivity / Conectividad nula	0.51	0.01
	Very high connectivity / Muy alta conectividad	-0.68	0.42
	Very low connectivity / Muy baja conectividad	0.00	0.48
	SD	-0.77	-0.05
	Medium accessibility / Accesibilidad media	-0.89	0.56
Accessibility degree / Muy alta accesibilidad	High accessibility / Alta accesibilidad	-0.42	0.37
	Low accessibility / Baja accesibilidad	0.70	-0.06
	Very high accessibility / Muy alta accesibilidad	-0.60	0.33
	Very low accessibility / Muy baja accesibilidad	0.14	0.48
	SD	-0.75	-0.05

Note: Cells marked in grey indicate the most relevant categories by dimension /
Nota: las celdas marcadas con gris indican las categorías de mayor relevancia por dimensión.

Source: Self-made.
Fuente: Elaboración propia.

higher than the values contained in the distribution table, considering a significance level of 0.05. It is also observed that the model organizes the variables in two dimensions, the first being the one that concentrates the greatest inertia and explains most of the variability of the model.

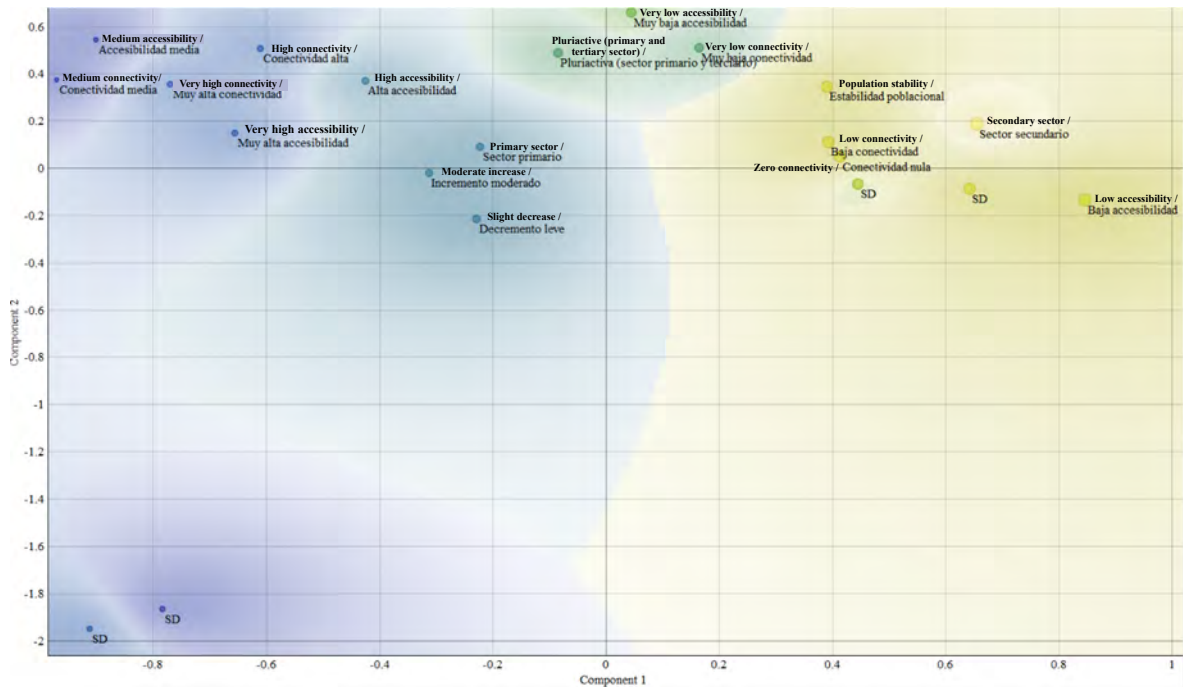
According to the inertia provided by each category, it is observed that the first dimension groups

y ubican en la periferia lejana, lo que limita su potencial de movilidad.

Gradiente de rururbanización a partir del Análisis de Correspondencias Múltiples

Los resultados del ACM demuestran su pertinencia estadística (Cuadro 3), dado que los valores de Chi-cuadrado son superiores a los valores contenidos en

Figure 5. Distribution of the categories that configure the Rururbanization gradient.
Figura 5. Distribución de las categorías que configuran el gradiente de rururbanización.



Source: Self-made. / Fuente: Elaboración propia.

the localities in transition according to the characteristics of the road network (Table 4), since the elements with the largest influence are associated with the degree of connectivity and accessibility. The second dimension classifies them according to their socioeconomic dynamics, since the component with the largest weight is part of this variable.

The graph of the positioning of the categories allows us to visualize the interaction between mobility, road infrastructure and socio-economic dynamics in the localities in transition, defining a gradient of rururbanization. In the upper left quadrant, the upper and middle classes are located, grouping settlements with a consolidated transport network and better travel opportunities. This location suggests proximity to the urban area, where inhabitants combine employment in the city with agricultural activities, reflecting a hybrid environment.

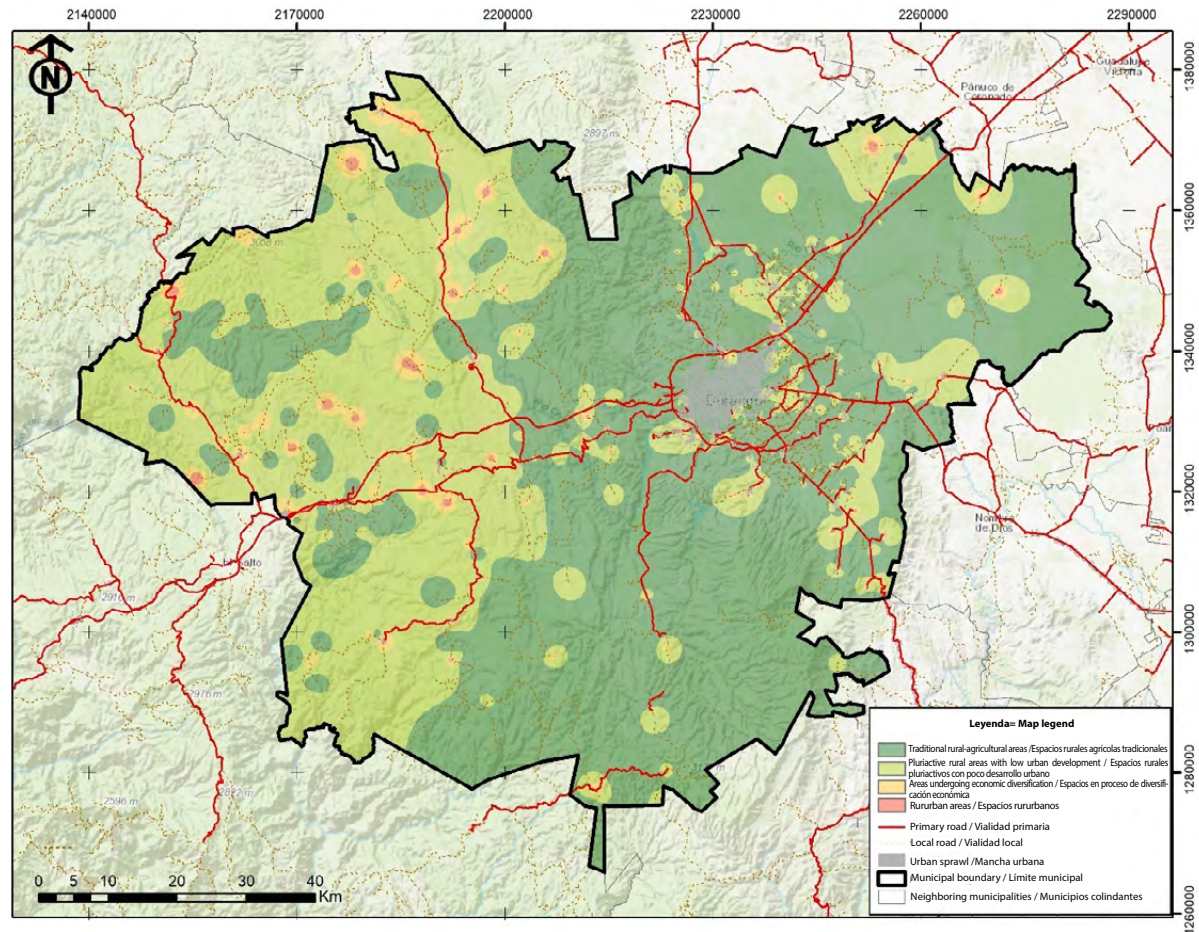
In the upper right quadrant, there are localities with very poor road connections, isolated and with limited access to services and opportunities. The presence of primary and secondary activities reflects pluriactive rural areas with little urban development. In the lower right quadrant, low-connectivity lo-

la tabla de distribución, considerando un nivel de significancia de 0.05. Asimismo, se observa que el modelo organiza las variables en dos dimensiones, siendo la primera la que concentra la mayor inercia y explica la mayor parte de la variabilidad del modelo.

De acuerdo con la inercia aportada por cada categoría, se observa que la primera dimensión agrupa las localidades en transición según las características de la red vial (Cuadro 4), dado que los elementos con mayor influencia están asociados con el grado de conectividad y accesibilidad. Por su parte, la segunda dimensión las clasifica en función de su dinámica socioeconómica, ya que el componente con mayor peso forma parte de esta variable.

El gráfico de posicionamiento de las categorías permite visualizar la interacción entre movilidad, infraestructura vial y dinámicas socioeconómicas en las localidades en transición, definiendo un gradiente de rururbanización. En el cuadrante superior izquierdo se ubican las clases de alta y media, agrupando asentamientos con una red de transporte consolidada y mejores oportunidades de desplazamiento. Esta ubicación sugiere cercanía a la zona urbana, donde los habitantes combinan empleo en la ciudad con

Figure 6. Gradient of rururbanización in the city of Durango, México.
Figura 6. Gradiente de rururbanización en la ciudad de Durango, México.



Source: Self-made, based on the National Geostatistical Framework (INEGI, 2020) data.
Fuente: Elaboración propia con datos del Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2020).

calities, stable in population and dependent on the secondary sector, indicate areas in transition and economic diversification. Finally, the lower left quadrant groups localities with low connectivity, focused on traditional agricultural activities, with little infrastructure and diversification.

Figure 6 shows a gradient of rururbanization across the municipality of Durango. The territorial scale is organized into four expressions of rurality: 1) traditional agricultural areas, 2) multi-active rural areas with little urban development, 3) territories in the process of economic diversification, and 4) rururban environments. This highlights the complex and dynamic interactions between the rural and the urban areas, resulting from a network of social, economic and demographic connections, influenced by road infrastructure and the availability of basic services

actividades agrícolas, reflejando un entorno híbrido.

En el cuadrante superior derecho, se encuentran localidades con muy baja conexión vial, aisladas y con acceso limitado a servicios y oportunidades. La presencia de actividades primarias y secundarias refleja espacios rurales pluriactivos con escaso desarrollo urbano. En el cuadrante inferior derecho, las localidades de baja, estables en población y dependientes del sector secundario, indican áreas en transición y diversificación económica. Finalmente, el cuadrante inferior izquierdo agrupa localidades de baja conectividad, centradas en actividades agrícolas tradicionales, con escasa infraestructura y diversificación.

La Figura 6 muestra un gradiente de rururbanización a lo largo del municipio de Durango. La escala territorial se organiza en cuatro expresiones de ruralidad: 1) zonas agrícolas tradicionales, 2) áreas rurales

Discussion

Reconfiguration and inequality in the rural expansion belt: urbanization effects.

The uneven development of urban sprawl points to the instability of territorial development policies and the constant reorganization of economic activities. In the first phase (1990-2000), significant growth is attributed to strategies that promoted progress towards rural areas, encouraging the housing construction, infrastructure and basic services. An example of this was the "Triangle of Progress", an initiative of the state government in the 1990s that sought to strengthen the interaction and articulation of the municipality of Durango with the cities of Santiago Papasquiario and Gómez Palacio (IMPLAN Durango, 2004).

The strategy sought to create productive corridors to boost the exchange of goods, services and people, promoting regional development and strengthening local skills. Framed within the neoliberal logic of spatial production, it aimed to maximize efficiency, competitiveness and economic growth, supported by the appropriation of territory and natural resources (García-Hernández, 2020). This generated inter-territorial inequalities, characterized, according to De Mattos (2009), by: 1) territorial growth conditioned by market dynamics, 2) a growing role of private agents in accumulation processes and 3) the reduction of the possibilities of promoting social objectives, especially in the most vulnerable societies.

In Durango, inter-territorial inequality was reflected in the saturation of residential land and the increase in demand for public services, limiting the expansion of the city between 2000 and 2010 (IMPLAN Durango, 2007). This process consolidated a pattern of dispersed occupation, with demographic and infrastructure concentration in certain areas. According to Rausch et al. (2019), this hybrid configuration is common in medium-sized cities in Latin America, where sectors with access to services coexist with areas in deterioration, which deepens poverty and social exclusion (Farfán Tocarruncho, 2020; Fuentes Arce et al., 2022; Bezerra et al., 2023). The slight increase in expansion between 2010 and 2020 is linked to the stabilization of migratory movements and the increase in the arrival of new residents, which favored the occupation of spaces close to the city (IMPLAN Durango, 2020).

pluriactivas con escaso desarrollo urbano, 3) territorios en proceso de diversificación económica y 4) entornos rururbanos. Esto evidencia las complejas y dinámicas interacciones entre lo rural y lo urbano, resultado de un entramado de conexiones sociales, económicas y demográficas, influenciadas por la infraestructura vial y la disponibilidad de servicios básicos.

Discusión

Reconfiguración y desigualdad en la franja de expansión rural: efectos de la urbanización.

La desigual evolución en la expansión de la mancha urbana evidencia la inestabilidad de las políticas de desarrollo territorial y la constante reorganización de las actividades económicas. En la primera fase (1990-2000), el crecimiento significativo se atribuye a estrategias que promovieron el avance hacia zonas rurales, impulsando la construcción de vivienda, infraestructura y servicios básicos. Un ejemplo de ello fue el "Triángulo del Progreso", una iniciativa del gobierno estatal en los años 90 que buscaba fortalecer la interacción y articulación del municipio de Durango con las ciudades de Santiago Papasquiario y Gómez Palacio (IMPLAN Durango, 2004).

La estrategia buscaba crear corredores productivos para dinamizar el intercambio de bienes, servicios y personas, promoviendo el desarrollo regional y fortaleciendo las competencias locales. Enmarcada en la lógica neoliberal de producción del espacio, se orientaba a maximizar la eficiencia, la competitividad y el crecimiento económico, sustentado en la apropiación de territorio y recursos naturales (García-Hernández, 2020). Esto generó desigualdades interterritoriales, caracterizadas, según De Mattos (2009), por: 1) un crecimiento territorial condicionado por las dinámicas del mercado, 2) un protagonismo creciente de agentes privados en los procesos de acumulación y 3) la reducción de las posibilidades de impulsar objetivos sociales, especialmente en las sociedades más vulnerables.

En Durango, la desigualdad interterritorial se reflejó en la saturación del suelo habitacional y el aumento en la demanda de servicios públicos, limitando la expansión de la ciudad entre 2000 y 2010 (IMPLAN Durango, 2007). Este proceso consolidó un patrón de ocupación dispersa, con concentración demográfica y de infraestructura en ciertas zonas.

Socioeconomic and environmental implications of population variations in the rural-urban area

The population increase in localities close to the urban strip results from the process of territorial reconfiguration driven by public policies that energized the productive structure through changes in land use and the construction of transport infrastructure. This generated a discontinuous urban fabric, mainly in six localities: El Nayar, Cinco de Mayo, La Ferrería, José María Pino Suárez, Colonia Hidalgo and Llano Grande. In the last thirty years, these localities have gone from having rural functions and lifestyles to becoming hybrid or rururbanized spaces, combining characteristics and functions of both environments.

The transformation of rural environments into urbanized areas not only modifies the landscape, but also generates profound socioeconomic and environmental implications (Cahe & de Prada, 2022; Yang et al., 2022). The conversion of agricultural land reduces the availability of essential resources, impacting agricultural activity, increasing dependence on imported food and raising costs for local consumers (Ustaoglu & Williams, 2023). Furthermore, this process affects the livelihoods of peasant communities (Saputra et al., 2022), limiting their economic opportunities and altering their livelihood strategies.

The environmental impacts of rururbanization are diverse and significant. One of the main effects is the loss of forest cover, which decreases biodiversity and disrupts the natural habitats of numerous species. This deforestation not only affects local flora and fauna, but also contributes to climate change by reducing the capacity of ecosystems to sequester carbon (Mandal et al., 2022). Furthermore, the expansion of urbanized areas degrades bodies of water and streams, both through increased pollution and through the alteration of natural hydrological cycles (Bohus et al., 2023).

Intensive land use and infrastructure construction can lead to land erosion and loss of fertility (Bimenyimana et al., 2022), compromising its capacity to sustain agriculture and other productive uses. Likewise, land impermeability due to urbanization increases the risk of flooding and reduces aquifer recharge (Gu, 2023). Not to mention the socio-environmental conflicts that arise due to the overlapping of particular and collective interests in relation to environmental goods.

Según Rausch et al. (2019), esta configuración híbrida es común en ciudades medias de América Latina, donde sectores con acceso a servicios coexisten con áreas en deterioro, lo que profundiza la pobreza y la exclusión social (Farfán Tocarruncho, 2020; Fuentes Arce et al., 2022; Bezerra et al., 2023). El leve repunte en la expansión entre 2010 y 2020 se vincula con la estabilización de los movimientos migratorios y el incremento de la llegada de nuevos residentes, lo que favoreció la ocupación de espacios cercanos a la ciudad (IMPLAN Durango, 2020).

Implicaciones socioeconómicas y ambientales de las variaciones poblacionales en la franja rural-urbana

El incremento poblacional en las localidades cercanas a la franja urbana resulta del proceso de reconfiguración territorial impulsado por políticas públicas que dinamizaron la estructura productiva mediante cambios en el uso del suelo y la construcción de infraestructuras de transporte. Esto generó un tejido urbano discontinuo, principalmente en seis localidades: El Nayar, Cinco de Mayo, La Ferrería, José María Pino Suárez, Colonia Hidalgo y Llano Grande. En los últimos treinta años, estas localidades han pasado de tener funciones y estilos de vida rurales a convertirse en espacios híbridos o rururbanizados, combinando características y funciones de ambos entornos.

La transformación de entornos rurales en áreas urbanizadas no solo modifica el paisaje, sino que también genera profundas implicaciones socioeconómicas y ambientales (Cahe y de Prada, 2022; Yang et al., 2022). La conversión de tierras agrícolas reduce la disponibilidad de recursos esenciales, impactando la actividad agropecuaria, aumentando la dependencia de alimentos importados y elevando los costos para los consumidores locales (Ustaoglu & Williams, 2023). Además, este proceso afecta los medios de vida de las comunidades campesinas (Saputra et al., 2022), limitando sus oportunidades económicas y alterando sus estrategias de sustento.

Los impactos ambientales de la rururbanización son diversos y significativos. Uno de los principales efectos es la pérdida de la cubierta forestal, lo que disminuye la biodiversidad e interrumpe los hábitats naturales de numerosas especies. Esta deforestación no solo afecta a la flora y fauna locales, sino que también contribuye al cambio climático al reducir la ca-

Pluriactivity as a constitutive element of the socioeconomic dynamics of rururbanized environments

In Latin America, pluriactivity has been a distinctive feature of rural socioeconomic dynamics since the mid-twentieth century (Florez Vaquirio & Pacheco Gómez, 2022). This phenomenon was intensified by neoliberal economic restructuring policies in the 1990s, causing a transition from rural growers to rural workers' societies. Activities outside the primary sector have become predominant, and the economic organization of households no longer revolves around the cultivation of the land (Contreras, 2017). In this context, labor diversification is one of the subsistence and reproduction mechanisms adopted by the inhabitants of the rural-urban fringe of the City of Durango.

The diversification of activities reflects the resilience of rural territories in the face of economic changes. Socioeconomic and productive diversification allows environments to not depend exclusively on agriculture (Hung Do, 2023), opening opportunities in sectors such as trade, tourism and services, which strengthens their economic stability and improves their life quality. However, pluriactivity form and function varies between households. Factors such as educational level, access to financing, characteristics of the agricultural productive base, availability of infrastructure and social capital (Salas-Quintanal & González-De la Fuente, 2014; Tomé-Hernández et al., 2014; Martínez-Domínguez et al., 2018) condition the pluriactivity scope, generating new forms of inequality and exclusion.

Factors in rural-urban dynamics associated with the road network structure

The road network in the rural-urban fringe of Durango shows a hierarchical territorial organization which includes towns and small settlements, reproducing the centrality and dispersion towards the peri-urban and rural fringes, similar to large metropolises (Martner Peyrelongue, 2015). This configuration conditions rural-urban relationship (Buitelaar et al., 2015). The lack of connectivity in 38% of the towns limits access to essential services such as education and health, and restricts economic and employment opportunities (Charnavalau et al., 2022). This conditions the possibilities of social reproduction and peasant ways of life, making them structurally precarious (Camero et al., 2020).

pacidad de los ecosistemas para secuestrar carbono (Mandal et al., 2022). Además, la expansión de áreas urbanizadas degrada cuerpos y corrientes de agua, tanto por el aumento de la contaminación como por la alteración de los ciclos hidrológicos naturales (Bohus et al., 2023).

El uso intensivo de la tierra y la construcción de infraestructura pueden provocar la erosión de esta y la pérdida de su fertilidad (Bimenyimana et al., 2022), lo que compromete su capacidad para sostener la agricultura y otros usos productivos. Asimismo, la impermeabilización de la tierra debido a la urbanización aumenta el riesgo de inundaciones y reduce la recarga de los acuíferos (Gu, 2023). Sin dejar de lado los conflictos socioambientales que surgen debido a la superposición de intereses particulares y colectivos en relación con los bienes ambientales.

La pluriactividad como elemento constitutivo de la dinámica socioeconómica de los entornos rururbanizados

En América Latina, la pluriactividad ha sido un rasgo distintivo de la dinámica socioeconómica rural desde mediados del siglo XX (Florez Vaquirio & Pacheco Gómez, 2022). Este fenómeno se intensificó con las políticas neoliberales de reestructuración económica en los noventa, provocando una transición de productores del campo a sociedades de trabajadores rurales. Las actividades ajenas al sector primario se han vuelto predominantes, y la organización económica de los hogares ya no gira en torno al cultivo de la tierra (Contreras, 2017). En este contexto, la diversificación laboral es uno de los mecanismos de subsistencia y reproducción adoptados por los habitantes de la franja rural-urbana de la Ciudad de Durango.

La diversificación de actividades refleja la capacidad de resiliencia de los territorios rurales ante los cambios económicos. La diversificación socioeconómica y productiva permite que los entornos no dependan exclusivamente de la agricultura (Hung Do, 2023), abriendo oportunidades en sectores como comercio, turismo y servicios, lo que fortalece su estabilidad económica y mejora su calidad de vida. Sin embargo, la forma y función de la pluriactividad varía entre los hogares. Factores como nivel educativo, acceso a financiamiento, características de la base productiva agrícola, disponibilidad de infraestructura y capital social (Salas-Quintanal & González-De la

Heterogeneity in connectivity restricts the mobility flows of people and goods (Luz et al., 2022), especially in areas with scarce road infrastructure, which favours subsistence economies (Camero et al., 2020) where pluriactivity is key. In contrast, better connected territories have access to more economic opportunities, greater availability of public services and more active participation in the local market. This generates a cycle of marginalization and exclusion which accentuates intra-territorial inequalities. Communities with less road integration face a dynamic where the lack of infrastructure limits the opportunities for household reproduction and, in turn, perpetuates their lag.

Some conditioning factors associated with the diversity of expressions of rurality

The territorial configuration of rural areas in Durango reflects four ways of living, producing and building rurality. Traditional agricultural areas, highly dependent on crops, face financial difficulties, which drives their inhabitants to seek alternatives such as migration or labour diversification, accelerating deagrarianization. Agricultural production is no longer the mainstay of livelihoods, modifying the ways of living and social, cultural and subsistence relationships in these communities (Bedoya-Ramos, 2018; Camero et al., 2020).

For their part, pluriactive rural areas are undergoing socioeconomic processes in which non-agricultural activities become increasingly important in their social reproduction scheme (Florez Vaquirio & Pacheco Gómez, 2022). In this context, elements such as the educational level, access to financing, the agricultural productive base, the availability of infrastructure and the conditions of social capital play a differentiating role in the functions that pluriactivity has within rural households (Custodio González, 2020).

Finally, areas undergoing economic diversification and urban areas are increasingly influenced by urbanization. Residents participate in productive activities, either in the neighboring city or in their own town (Velázquez Hernández & López Romero, 2021), while agricultural activities are maintained or play a residual role (Bernal Sánchez & Hernández Peña, 2022). This generates new forms of socioeconomic interrelation (Macuacé Otero, 2019) and symbolically blurs the agrarian and peasant landscape, replacing it with new habits (Bautista, 2023).

Fuente, 2014; Tomé-Hernández et al., 2014; Martínez-Domínguez et al., 2018) condicionan el alcance de la pluriactividad, generando nuevas formas de desigualdad y exclusión.

Condicionantes en la dinámica rural-urbana asociadas a la estructura de la red vial

La red vial en la franja rural-urbana de Durango evidencia una organización territorial jerarquizada que incluye localidades y pequeños asentamientos, reproduciendo la centralidad y dispersión hacia las franjas periurbanas y rurales, similar a grandes metrópolis (Martner Peyrelongue, 2015). Esta configuración condiciona las relaciones rural-urbanas (Buitelaar et al., 2015). La falta de conectividad en el 38 % de las localidades limita el acceso a servicios esenciales como educación y salud, y restringe oportunidades económicas y laborales (Charnavalau et al., 2022). Esto condiciona las posibilidades de reproducción social y las formas de vida campesina, precarizándolas estructuralmente (Camero et al., 2020).

La heterogeneidad en la conectividad restringe los flujos de movilidad de personas y bienes (Luz et al., 2022), especialmente en zonas con escasa infraestructura vial, lo que favorece economías de subsistencia (Camero et al., 2020) donde la pluriactividad es clave. En contraste, los territorios mejor comunicados acceden a más oportunidades económicas, mayor disponibilidad de servicios públicos y una participación más activa en el mercado local. Esto genera un ciclo de marginalización y exclusión que acentúa las desigualdades intraterritoriales. Las comunidades con menor integración vial enfrentan una dinámica donde la carencia de infraestructura limita las oportunidades de reproducción de los hogares y, a su vez, perpetúa su rezago.

Algunas condicionantes asociadas a la diversidad de expresiones de ruralidad

La configuración territorial de las zonas rurales en Durango refleja cuatro formas de habitar, producir y construir la ruralidad. Las áreas agrícolas tradicionales, altamente dependientes del cultivo, enfrentan dificultades financieras, lo que impulsa a sus habitantes a buscar alternativas como la migración o la diversificación laboral, acelerando la desagrarianización. La producción agropecuaria deja de ser el eje central del sustento, modi-

Conclusions

By combining spatial and statistical analysis, the research highlights the changes caused by rural urbanization in Durango and its rural environments. These have reconfigured the socioeconomic, socioterritorial and socio-spatial spheres, highlighting a gradient of rururbanization that reveals a rural-urban continuum. In this process, the borders between the countryside and the city are blurred, giving rise to four expressions of rurality, from traditional agricultural spaces to rururban environments, consolidating new hybrid forms of territory and territoriality. This condition reflects socio-spatial and functional changes driven by development policies that have modified land use and rural dynamics. Urban expansion has taken up agricultural land, increasing the demand for public services and putting pressure on ecosystem goods, especially soil and water, through competition between productive and social activities.

Under these considerations, the traditional rural vision, focused on agriculture, is limited in capturing the complexity of rural-urban interactions and the diverse expressions of rurality. Rural environments are not homogeneous, but rather socio-territorial expressions where social, cultural, political and economic dynamics converge. This requires rethinking rural development policies from a perspective that goes beyond the notion of the rural as a passive space, recognizing its diversity and complexity. Another relevant finding is that road infrastructure is a key factor in socio-territorial configuration. While areas with good connectivity are better integrated into urban dynamics, the less accessible ones tend to become isolated. Although this favors integration, it also generates challenges such as environmental degradation and spatial dispersion, affecting the efficiency in the provision of services and deepening inequalities. Traditional, pluriactive and economically diversified agricultural spaces are especially affected by the distribution of road infrastructure.

Future research would need to investigate the effects of the rururbanization process on the inhabitants of these environments from a multidimensional and multiscale perspective that considers economic, social and cultural elements. It is essential to explore how these dynamics affect not only the economic and labor structure of the communities, but also

ficando los modos de vida y las relaciones sociales, culturales y de subsistencia en estas comunidades (Bedoya-Ramos, 2018; Camero et al., 2020).

Por su parte, los espacios rurales pluriactivos experimentan procesos socioeconómicos en los que las actividades no agrícolas adquieren cada vez mayor importancia en su esquema de reproducción social (Florez Vaquirio & Pacheco Gómez, 2022). En este contexto, elementos como el nivel educativo, el acceso a financiamiento, la base productiva agrícola, la disponibilidad de infraestructura y las condiciones del capital social juegan un papel diferenciador en las funciones que tiene la pluriactividad dentro de los hogares rurales (Custodio González, 2020).

Finalmente, los espacios en proceso de diversificación económica y rururbanos experimentan una creciente influencia de la urbanización. Los residentes participan en actividades productivas, ya sea en la ciudad vecina o en la propia localidad (Velázquez Hernández & López Romero, 2021), mientras que las actividades agrícolas se mantienen o juegan un papel residual (Bernal Sánchez & Hernández Peña, 2022). Esto genera nuevas formas de interrelación socioeconómica (Macuacé Otero, 2019) y desdibuja simbólicamente el paisaje agrario y campesino, reemplazándolo con nuevos hábitos (Bautista, 2023).

Conclusiones

El estudio, mediante un enfoque que combina análisis espacial y estadístico, evidencia las transformaciones derivadas de la rururbanización en Durango y sus entornos rurales. Estas han reconfigurado los ámbitos socioeconómicos, socioterritorial y socioespacial, destacando un gradiente de rururbanización que revela un continuum rural-urbano. En este proceso, las fronteras entre el campo y la ciudad se difuminan, dando lugar a cuatro expresiones de ruralidad, desde espacios agrícolas tradicionales hasta entornos rururbanos, consolidando nuevas formas híbridas de territorio y territorialidad. Esta condición refleja cambios socioespaciales y funcionales impulsados por políticas de desarrollo que han modificado el uso del suelo y las dinámicas rurales. La expansión urbana ha ocupado terrenos agrícolas, aumentando la demanda de servicios públicos y presionando bienes ecosistémicos, especialmente suelo y agua, por la competencia entre actividades productivas y sociales.

fundamental aspects such as social cohesion, cultural identity and quality of life, with the aim of developing public policies that consider territorial dynamics and particularities.

Likewise, to further study the relationship between urban expansion and the degradation of ecosystem goods in rural urban areas with the aim of identifying present and future socio-environmental conflicts. This includes an analysis of the loss and pressure on biodiversity, soil and water pollution, from a perspective that integrates community resilience processes.

Acknowledgement

This article is a product from the project "Dynamics of rururbanization in rural environments near the city of Durango, Mexico" with code 20241694, which received financing from the Instituto Politécnico Nacional through the Scientific Research and Technological Development Project Program.

End of English version

References / Referencias

- Abu Hatab, Assem, Maria Eduarda Rigo, August Lindemer, & Carl-Johan Lagerkvist. (2019). Urban Sprawl, Food Security and Agricultural Systems in Developing Countries: a Systematic Review of the Literature. *Cities*, (94), 129-142. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.06.001>
- Algañaraz Soria, V. H. (2016). El "Análisis de Correspondencias Múltiples" como herramienta metodológica de síntesis teórica y empírica. Su aporte al estudio del locus universitario privado argentino (1955-1983). *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*, 6(1), e003. https://www.relmecs.fahce.unlp.edu.ar/article/view/relmecs_v06n01a03Artigo
- Bautista, A. F. (2018). Análisis de accesibilidad y conectividad de la red vial intermunicipal en el microsistema regional de la provincia Centro en Boyacá, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 23(1), 123-141. doi:10.19053/01233769.8058
- Bautista, A. F. (2023). Tejiendo el (lo) rururbanos: una aproximación a los procesos de rururbanización en la ciudad intermedia de Tunja, Colombia.

Bajo estas consideraciones, la visión tradicional de lo rural, centrada en la agricultura, resulta limitada para captar la complejidad de las interacciones rural-urbanas y las diversas expresiones de ruralidad. Los entornos rurales no son homogéneos, sino expresiones socioterritoriales donde convergen dinámicas sociales, culturales, políticas y económicas. Esto exige repensar las políticas de desarrollo rural desde una perspectiva que supere la noción de lo rural como un espacio pasivo, reconociendo su diversidad y complejidad. Otro de los hallazgos relevantes es que la infraestructura vial es un factor clave en la configuración socioterritorial. Mientras las zonas con buena conectividad se integran mejor a la dinámica urbana, las menos accesibles tienden al aislamiento. Esto, aunque favorece la integración, también genera desafíos como degradación ambiental y dispersión espacial, afectando la eficiencia en la prestación de servicios y profundizando desigualdades. Los espacios agrícolas tradicionales, pluriactivos y en diversificación económica son especialmente afectados por la distribución de la infraestructura vial.

Quedaría pendiente para futuras investigaciones indagar sobre los efectos del proceso de rururbanización en los pobladores de estos entornos desde una perspectiva multidimensional y multiescalar que considere elementos económicos, sociales y culturales. Es esencial explorar cómo estas dinámicas afectan no solo la estructura económica y laboral de las comunidades, sino también aspectos fundamentales como la cohesión social, la identidad cultural y la calidad de vida. Con la finalidad de elaborar políticas públicas que consideren las dinámicas y particularidades territoriales.

Así mismo, profundizar en el estudio de la relación entre la expansión urbana y la degradación de los bienes ecosistémicos de los espacios rururbanizados con el objetivo de identificar conflictos socioambientales, presentes y futuros. Esto incluye un análisis sobre la pérdida y presión sobre la biodiversidad, la contaminación de suelos y cuerpos de agua, desde una perspectiva que integre los procesos de resiliencia comunitaria.

Agradecimiento

Este artículo es un producto derivado del proyecto "Dinámicas de rururbanización en los entornos ru-

- Perspectiva Geográfica, 28(2), 1-16. <https://doi.org/10.19053/01233769.14873>
- Bedoya-Ramos, E. J. (2018). La interrelación rural-urbana en espacios de interfase como planteamiento para la cohesión territorial. *Gestión y Ambiente*, 21(2). <https://doi.org/10.15446/ga.v21n2.71306>
- Bernal Sánchez, A. M., & Hernández Peña, Y. T. (2022). Estrategias para la planificación de un territorio rururbanos sustentable bajo el enfoque de inteligencia territorial caso vereda Bosatama Soacha Cundinamarca, Colombia. *Revista Geográfica*, 165, 91-135. <https://doi.org/10.35424/regeo.165.2022.1179>
- Bezerra, M. do C. de L., Eirado, R. S. K., & Medeiros, V. A. S. de. (2023). Evaluation of the urban form in the mobility of medium-sized cities in Brazil. *Contribuciones a las ciencias sociales*, 16(7), 5881–5898. <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.7-041>
- Bimenyimana, T., Bugenimana, E. D., Habineza, E., Bushesha, M. S., & Mohammad, A. (2022). Impact of Urbanization on Land use and Land Cover Changes in Growing Cities of Rwanda. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 44(8), 258-266. <https://doi.org/10.4491/KSEE.2022.44.8.258>
- Bohus, A., Gál, B., Barta, B., Szivák, I., Karádi-Kovács, K., Boda, P., Padišák, J., & Schmera, D. (2023). Effects of urbanization-induced local alterations on the diversity and assemblage structure of macroinvertebrates in low-order streams. *Hydrobiologia*, 850, 881-899. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05130-1>
- Buitelaar, R., Echeverri Perico, R. A., Silva Lira, I., & Riffó Pérez, L. (2015). Estrategias y políticas nacionales para la cohesión territorial Estudios de caso latinoamericanos. Serie Desarrollo Territorial No. 19. Santiago de Chile. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Cahe, E., & de Prada, J. (2022). Evolución de la expansión urbana y riesgos para la agricultura de proximidad en el sur de Córdoba, Argentina. *EURE*, 48(144), 1-21. doi: 10.7764/eure.48.144.10.
- Camero, L., Grammont, H. C. de., & Quaranta, G. (2020). El cambio rural: una lectura desde la desagrarización y la desigualdad social. *Revista Austral de Ciencias Sociales*, 38, 191-211. <https://doi.org/10.4206/rev.austral.cienc.soc.2020.n38-10>
- Cardozo, O., Gómez, E., & Parras, M. (2009). Teoría de grafos y sistemas de información geográfica aplicados al transporte público de pasajeros en Resistencia (Argentina). *Revista Transporte y Territorio*, 1, 89-111. www.redalyc.org/pdf/3330/333027079005.pdf
- Charnavalau, A., Szymańska, E. J., & Czapski, G. (2022). The Impact of Transport Exclusion on the Local Development of Biała County. *Sustainability*, 14, 1-23. <https://doi.org/10.3390/su14095674>
- Chen, N., & Pow, P. C. (2023). Articulating relational rurality amidst urbanization: Agency, spatial paradox and the de/reterritorialization of lineage landscapes in contemporary rural China. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 49. <https://doi.org/10.1111/tran.12621>
- Contreras, F. (2017). “Población rural y trabajo en México: de productores agrícolas a trabajadores rurales”. México: UNAM, Centro de investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias Sociales y Humanidades.
- Custodio- González, C. A. (2020). Reconfiguración productiva, estrategias de reproducción y capital social en espacios rurales: un análisis exploratorio en el noroeste del Estado de México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 17, 1-18. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr.17.rper>
- De Mattos, Carlos A. (2009). “Modernización capitalista y revolución urbana en América Latina: cinco tendencias genéricas.” En *La ciudad latinoamericana en el siglo xxi: globalización, neoliberalismo, planeación*, compilado por Peter Brand, 37-82. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. *Environmental Systems Research Institute, Inc. (s. f.). ArcGIS Resource Center [Portal electrónico]. Recuperado de* <http://resources.arcgis.com/es/home/>

Fin de la versión en español

- Farfán Tocarruncho, W. Y. (2020). Aproximación conceptual de la segregación socio espacial y residencial en ciudades intermedias en América Latina. *Revista Boletín REDIPE*, 9(8), 96-115. <https://revista.redipe.org/index.php/1/article/view/1044>
- Florez Vaquiro, N., & Pacheco Gómez, E. (2022). Multiactividad laboral en la producción agrícola en los contextos menos urbanizados de México: 1993 y 2003. *Revista Latinoamericana De Población*, 16, e202034. <https://doi.org/10.31406/relap2022.v16.e202034>
- Fuentes Arce, L., Ramírez, M. I., Rodríguez, S., & Señoret, A. (2022). Socio-spatial differentiation in a Latin American metropolis: urban structure, residential mobility, and real estate in the high-income cone of Santiago de Chile. *International Journal of Urban Sciences*, 27(2), 195–214. <https://doi.org/10.1080/12265934.2022.2116087>
- García Castro, M. B., & Carranco Gallardo, Z. (2008). Concentración regional en Veracruz. Un enfoque de identificación de Aglomeraciones Productivas Locales. *Revista Análisis Económico*, 23(52), 291-319. <https://www.redalyc.org/pdf/413/41311484016.pdf>
- García-Hernández, J. S. (2020). Las lógicas de la producción neoliberal: entre el espacio concebido y el espacio vivido. *Finisterra*, 55(114), 41-58. doi: 10.18055/Finis20390
- Gu, S. (2023). The impact of increasing forest loss areas on the global temperature, and tourism industry. *Asian Journal of Research in Agriculture and Forestry*, 9(3), 42-55. DOI: 10.9734/AJRAF/2023/v9i3205
- Guzmán Chávez, M. G., Madrigal González, D., & Ávila Cervantes, J. M. (2022). El libramiento norponiente de San Luis Potosí: proceso de rururbanización, resistencia, intermediación y valoración de tierras. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 37(2), 513-511. <http://dx.doi.org/10.24201/edu.v37i2.2015>
- Hung Do, M. (2023). The role of savings and income diversification in households' resilience strategies: evidence from rural Vietnam. *Social Indicators Research*, 168, 353-388. <https://doi.org/10.1007/s11205-023-03141-6>
- INEGI (2020). Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda. 2020. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469>
- INEGI. Instituto de Municipal de Planeación Durango (IMPLAN). (2004). Plan Municipal de Desarrollo Durango, 2004-2007. Gobierno Municipal de Durango.
- Instituto de Municipal de Planeación Durango (IMPLAN). (2007). Plan Municipal de Desarrollo Durango, 2007-2010. Gobierno Municipal de Durango.
- Instituto de Municipal de Planeación Durango (IMPLAN). (2020). Plan Municipal de Desarrollo Durango, 2020-2022. Gobierno Municipal de Durango.
- Jiménez Barrado, V., & Campesino Fernández, A. J. (2018). Deslocalización de lo urbano e impacto en el mundo rural: rururbanización en <<Pueblos dormitorio>> de Cáceres capital. *Cuadernos Geográficos*, 57(3), 243-266. <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i3.6239>
- Lilli, L. M. (2021). Efectos y tramas de las políticas: implementación de un programa para la producción sustentable de alimentos en el periurbano Rosarino (Santa Fe). *Estudios Rurales*, 11(21), 1-16. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/181/1811731001/index.html>
- Loyola, C., & Rivas, J. (2014). Accesibilidad a los centros poblados en el valle del Itata, provincia de Ñuble, Chile. *Polígonos, Revista de Geografía*, 26, 255-276. <https://doi.org/10.18002/pol.v0i26.1706>
- Luz, G., Barboza, M. H. C., Portugal, L., Giannotti, M., & van Wee, B. (2022). Does better accessibility help to reduce social exclusion? Evidence from the city of São Paulo, Brazil. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 166, 186-217. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.10.005>
- Macuacé Otero, R. A. (2019). Los espacios rururbanos en Colombia: algunos elementos para su discusión. *Procesos Urbanos*, 6(6), 34-41. <https://doi.org/10.21892/2422085X.455>
- Mandal, J., Pravin Patel, P., & Samanta, S. (2022). Examining the expansion of Urban Heat Island effect in the Kolkata Metropolitan Area and its vicinity using multi-temporal MODIS satellite data. *Advances in Space Research*, 69(5), 1960-1977. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.11.040>
- Martínez, H., Mohino, I., Ureña, J., & Solís, E. (2014). Road accessibility and articulation

- of metropolitan spatial structures: the case of Madrid (Spain). *Journal of Transport Geography*, 37, 61-73. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.04.003>
- Martínez-Domínguez, M., De Souza, M., & Mora-Rivera, J. (2018). Cambios en el empleo e ingreso de los hogares rurales de México, 2002-2007. *Región y Sociedad*, 71, 1-29.
- Martner Peyrelongue, C. (2015). Transporte y articulación urbano-rural de una ciudad intermedia mexicana. *Revista Mexicana de Sociología*, 77(2), 215-24. <http://dx.doi.org/10.22201/iis.01882503p.2015.2.48223>
- Martner, C. (2016). Expansión dispersa, ciudad difusa y transporte: el caso de Querétaro, México. *EURE*, 42(125), 31-60. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612016000100002>
- McFarland, C. (2017). "Local economic conditions 2017. Research and analysis of local economies: Going beyond "Urban vs. Rural". National League of Cities.
- Michel, A., & Ribardiè. (2017). Crecimiento demográfico y formas de urbanización de las pequeñas ciudades en México. *Territorios*, (37), 101-121. <http://dx.doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.4742>
- Ochoa Céspedes, J. (2023). Periurbano/agricultura periurbana: tres perspectivas: ecológica, social y territorial. *Entorno geográfico*, (26), e22312805 <https://doi.org/10.25100/eg.v0i26.12805>
- Ortiz Montero, J. D., & Hernández Peña, Y. (2015). Análisis desde la base del conocimiento local de las percepciones y respuestas locales frente al proceso de rururbanización en la vereda de Chuntame, municipio de Cajicá, Cundinamarca. *Cuadernos de Geografía. Revista Colombiana de Geografía*, 24(1), 101-119. <http://dx.doi.org/10.15446/rcdg.v24n1.47775>
- Palacio Prieto, J. L., M. T. Sánchez Salazar, J. M., Casado Izquierdo, E., Propin Frejomil, J., Delgado Campos, A., Velázquez Montes, L., Chias Becerril, M. Ortiz Álvarez, J., González Sánchez, G., Negrete Fernández, J., Gabriel Morales y R. Márquez Huitzil, (2004) Indicadores para la caracterización y ordenamiento territorial. México, Semarnat, Instituto Nacional de Ecología, UNAM, Instituto de Geografía, Sedesol. Disponible en <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/434.pdf>
- Rausch, G. A., Martínez, I., Nardelli, M. I., & Szupiany, E. (2019). Concentración/dispersión en Santa Fe, Argentina: problemáticas e interrogantes sobre los procesos urbanos contemporáneos en una ciudad media de América Latina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 66-88. doi: 10.15446/rcdg.v28n1.68757.
- Regueiro Ferreira, R. M., & Sánchez Sellero, M. del C. (2015). Aplicación del análisis de correspondencias sobre los datos de generación de empleo en el sistema eléctrico de España. *Revista Galega de Economía*, 23(1), 227-243. <https://doi.org/10.15304/rge.23.1.2465>
- Rivero Herrera, E. V. (2018). Representaciones sociales en el proceso de integración del campo a la ciudad Colquencha-La Paz. *Revista de Investigación Psicológica*, (19), 135-158. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-30322018000100010
- Román-Montes de Oca E., Licea-Reséndiz, J. E., & Romero-Torres, F. (2020). Diversificación de ingresos de los productores como estrategias de desarrollo rural. *Entramado*, 16(2), 126–148. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.6752>
- Rosas-Baños, M. (2013). Nueva Ruralidad desde dos visiones de progreso rural y sustentabilidad: Economía Ambiental y Economía Ecológica. *Polis*, 12(34), 225-241. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-65682013000100012>
- RStudio Team. (2024). RStudio: Integrated Development Environment for R (Version 3.6.0) [Software de computadora]. RStudio, PBC. <http://www.rstudio.com/>
- Salas-Quintanal, H., & Gonzalez-De la Fuente, I. (2014). La reproducción de la pluriactividad laboral entre jóvenes rurales en Tlaxcala, México. *Papeles de Población*, 79, 282-307. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11230198010>
- Saputra, R. A., Tisnanta, H., Sumarja, F., & Triono, A. (2022). Agricultural land conversion for housing development and sustainable food agricultural land. *Technium Social Sciences Journal*, 37(1), 216–223. <https://doi.org/10.47577/tssj.v37i1.7600>
- Secretaría de Gobernación (SEGOB). (2022) Diagnóstico de movilidad humana en Durango.

- Secretaría de Gobernación: Ciudad de México.
- Smith, G., Archer, R., Nandwani, D., & Li, J. (2018). Impacts of urbanization: diversity and the symbiotic relationships of rural, urban, and spaces inbetween. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 25(3), 276-289. DOI: 10.1080/13504509.2017.1383321
- Tomé-Hernández, G., Méndez-Espinoza, J., Pérez-Ramírez, N., Ramírez-Júarez, J., & Tornero-Campante, M. (2014). Estrategias de reproducción familiar en Santa María Mayotzingo, Puebla, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 11(1), 93-111
- Ustaoglu, E., & Williams, B. (2023). Institutional Settings and Effects on Agricultural Land Conversion: A Global and Spatial Analysis of European Regions. *Land*, 12(1), 1-35. <https://doi.org/10.3390/land12010047>
- van Vliet, J., Birch-Thomsen, T., Gallardo, M., Hemerijckx, L. M., Hersperger, A. M., Li, M., Tumwesigye, S., Twongyirwe, R., & van Rompaey, A. (2020). Bridging the rural-urban dichotomy in land use science. *Journal of Land Use Science*, 15(5), 585-591. DOI: 10.1080/1747423X.2020.1829120
- Velázquez Hernández, E., & López Romero, P. (2021). La propiedad ejidal de la tierra en contextos de rururbanización en México: sus desafíos y oportunidades en una ciudad media (Xalapa, Veracruz). *Historia Agraria de América Latina (HAAL)*, 2(1), 174-196. <https://doi.org/10.53077/haal.v2i01.87>
- Vélez Venegas, C. M., & Luis Miguel Ríos Betancur, L. M. (2020). Límites en gradiente y paisajes intermedios en la metrópoli dual de Medellín. *ZARCH*, 14, 188-199. https://doi.org/10.26754/ojs_zarch/zarch.2020144303
- Yang, G., Yu, Z., Luo, T., & Lone, S. K. (2022). Residents' urbanized landscape preferences in rural areas reveal the importance of naturalness-livability contrast. *Journal of Geographical Sciences*, 32, 1493-1512. <https://doi.org/10.1007/s11442-022-2007-4>



Dairy sector in Baja California: governmental management and producer- industrialist relationships

José Zavala Álvarez^{1*}

Jorge Alejandro Martínez Partida²

Gloria Muñoz del Real³

Carlos Federico Rosales Guerrero⁴

Abstract

The management process of problems of the dairy sector in Baja California is studied in this research work. Answers to the following questions are provided: What are the problems that explain the unfavorable conditions of the state's milk producers and what are the elements that compose them? Who are the relevant agents and what role do they play? and What recommendations can improve their conditions? Using the Chain Sampling method, forty-two key agents were identified and interviewed, including producers, industrialist marketers, government managers and former government managers, among others; by means of a Problem Tree, causes and effects were analyzed and determined and a Tree of Means and Purposes was constructed to develop alternatives. The effective intervention of public authorities is proposed in the process of reconstructing meeting and agreement structures among the agents such as the State Milk Commission, which technically, organizationally and financially supports producers in the design of strategies to reduce production costs; in intermediating for pricing and profit distribution; in the creation of standards and monitoring quality and marketing; in the management of financing and budgetary support, among others.

Keywords: milk, dairy farmers, dairy industrialists, agricultural policy, agricultural prices.

Sector lechero de Baja California: gestión gubernamental y relación productores-industriales

Resumen

El proceso de gestión de los problemas del sector lechero de Baja California se estudia en este trabajo de investigación. Se elaboran respuestas a las preguntas ¿cuáles son y de qué elementos se componen los problemas que explican las condiciones desfavorables de los productores de leche del estado?, ¿quiénes son actores relevantes y qué papel desempeñan?, ¿qué recomendaciones pueden mejorar sus condiciones? Con el método de Muestreo en Cadena se identificaron y entrevistaron a cuarenta y dos actores clave entre productores, industriales-comercializadores, directivos y exdirectivos gubernamentales, entre otros; por medio de un Árbol de Problemas se analizaron y determinaron causas y efectos y se construyó un Árbol de Medios y Fines para la elaboración de alternativas. Se propone la intervención efectiva de la autoridad pública en el proceso de reconstitución de figuras de encuentro y acuerdo entre los actores como la Comisión Estatal de la Leche, que acompañe técnica, organizacional y financieramente a productores en el diseño de estrategias para reducir costos de producción, en la intermediación para la fijación de precios y distribución de utilidades, en la creación de normas y vigilancia de calidad y comercialización, en la gestión de financiamiento y respaldo presupuestal, entre otras.

Palabras clave: Leche, productores agropecuarios, industriales lecheros, política agropecuaria, precios agropecuarios.

¹El Colegio de la Frontera Norte A.C., CONAHCYT, Cerrada Jardín de la Alegría núm. 2234, Fracc. Hega, Mexicali, B. C., México C. P. 21220.

²Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, UABC., Carretera Mexicali-San Felipe, km 3.5, Laguna Campestre, Mexicali, B. C. México.

³Facultad de Ciencias Administrativas, UABC, Blvd. Río Nuevo, Eje Central, núm. 21330, Mexicali, B.C. México

⁴Red de Investigadores en Educación de la Frontera A.C., Padre Kino núm. 790, Col. Prohogar, Mexicali, B.C. México. C. P. 21240.

*Corresponding author: jza61@colef.mx Tel: 6865432324, ORCID ID: 0000-0001-7877-993X

Introduction

This research includes the identification and study of the problems of the dairy sector in Baja California. The document is derived from a research-evaluation project conducted in 2014 (Martínez, 2014); however, more recent statistics prove that the same trends persist, hence the importance of recovering and analyzing the information. This exercise is crucial for understanding the problems of this productive sector over the years. This work has the indispensable function of producing documented knowledge on the problems faced by dairy production in the entity, based under the conviction that it is relevant material for the identification and design of development policies in this economic activity with high social content due to its importance for the food sector and for the employment it generates.

It is important to point out that there is practically no research on the dairy sector in the region. In the north and northwest of the country, research on the agricultural sector in general and from the social sciences is incipient, and this lack of knowledge about the sector has consequences for the definition of public policies and government intervention.

Organizations such as the National Livestock Confederation (Confederación Nacional Ganadera CNG by its Spanish acronym), the National Association of Dairy Farmers (Asociación Nacional de Ganaderos Lecheros Anglac by its Spanish acronym), the Association of Dairy Producers (Productores Lecheros Anple by its Spanish acronym), and the National Agricultural Council (Consejo Nacional Agropecuario CAN by its Spanish acronym) had already indicated that the national sector would reduce its production in the short term (Notimex, 2014). Roldán (2013) argues that the drop translated into 1.719 million liters of milk, while in the long term it would be at 2.642 million liters basically due to imports which registered a reduction of between 400,000 and 577,500 cows in the national cattle herd; this impact meant a loss of 9.572 million pesos in the short term, while in the long term it would reach 27.555 million. According to these associations, milk imports had reduced local prices, since for every 1 000 million liters imported, there is a reduction of 1.43 pesos in the price of a liter of domestic milk.

At the time of the study, the dairy sector in Baja Cali-

Introducción

Esta investigación comprende la identificación y estudio de los problemas del sector lechero de Baja California. El documento se deriva de un proyecto de investigación-evaluación realizado en 2014 (Martínez, 2014); pero estadísticas más recientes prueban que las mismas tendencias persisten, de ahí la importancia de recuperar y analizar la información, este ejercicio resulta crucial para el entendimiento de la problemática de este sector productivo a lo largo de los años. Este trabajo tiene la función indispensable de producir conocimiento documentado sobre las problemáticas que presenta la producción lechera en la entidad, bajo la convicción de que se trata de material relevante para la identificación y diseño de políticas de desarrollo en esta actividad económica con alto contenido social por su importancia para el sector alimenticio y por la ocupación que genera.

Es importante señalar que el estudio sobre el sector lechero de la región es prácticamente nulo, en el norte y noroeste del país, los trabajos de investigación sobre el sector agropecuario en general y desde las ciencias sociales son incipientes, estas condiciones de conocimiento deficiente sobre el sector tienen consecuencias en la definición de políticas públicas y de intervención gubernamental.

Se registró qué organismos como la Confederación Nacional Ganadera (CNG), la Asociación Nacional de Ganaderos Lecheros (Anglac), la de Productores Lecheros (Anple) y el Consejo Nacional Agropecuario (CNA), ya habían señalado que el sector nacional reduciría su producción a corto plazo (Notimex, 2014). Roldán (2013) sostiene que la baja se tradujo en 1 719 millones de litros de leche, mientras que a largo plazo se ubicaría en 2 642 millones de litros básicamente debido a la importación la cual registró una reducción de entre 400 mil y 577 mil 500 vacas del hato ganadero nacional; este impacto significó en el corto plazo una pérdida de 9 572 millones de pesos, mientras que, a largo plazo, llegaría hasta los 27 555 millones. De acuerdo con estas asociaciones, la importación de leche había reducido el precio local, ya que por cada 1 000 millones de litros que se importan, hay una reducción de 1.43 pesos en el precio del litro de leche nacional.

En el periodo de realización del estudio, el sector lechero en Baja California mostraba un franco declive

ifornia showed a clear productive decline in production, requiring government attention to prevent its disappearance. Dairy producers in the municipality of Tijuana claimed that between 2010 and 2014, 49% of established producers had already disappeared. It is worth noting that by 2009, the state held fourteenth place in milk production and had one of the most technified and productive dairy farms in the country, with parameters that reached, for the coastal area (municipalities of Ensenada, Tecate, Tijuana, and Playas de Rosarito), an average daily production per cow of 29 liters (Ministry of Agricultural Development [Secretaría de Fomento Agropecuario SEFOA by its Spanish acronym], 2011).

According to the Baja California Regional Livestock Union (Unión Ganadera Regional de Baja California UGRBC by its Spanish acronym), in 2010 there were a total of 140 producers registered with the Local Livestock Association (Asociación Ganadera Local AGL by its Spanish acronym), 28 in the municipality of Tecate, 60 in the Tijuana AGL, 36 in Ensenada, and 16 in Mexicali. In the latter case, the president of the Mexicali Dairy Producers Association stated that there were only eight (Personal communication, Rubio, August 17, 2013). This represents a real reduction of 50%. Based on this record, according to SEFOA, about 500,000 liters of milk are being produced locally, with an approximate state consumption of 800,000 liters, in which fresh milk and dairy products or "formulas" are included. In the case of production in the municipality of Mexicali, cattlemen report that in 2006, 80,000 liters were produced for industrial purposes and 120,000 liters for cheese making; in 2014, only 30,000 liters were produced for the local dairy industry in technologically advanced dairy farms, and there is no real estimate of backyard production. Partially technified cattlemen have practically disappeared.

The eventual decline or stagnation of the dairy sector in the state demands explanations; this process is particularly critical due to the nature of this basic foodstuff. In view of this situation, its production and supply are of public interest; therefore, it is crucial to identify the problems affecting the activity, as expressed by representatives from the different links in this agri-food chain. The problems are expressed in terms of price per liter that producers receive from

productivo que requería atención gubernamental para evitar su desaparición. Productores de leche del municipio de Tijuana sostenían que entre 2010 y 2014 ya había desaparecido el 49 % de los productores establecidos. Cabe subrayar que para 2009 la entidad mantenía el decimocuarto lugar en producción de leche y contaba con una de las cuencas lecheras más tecnificadas y más productivas a nivel nacional, con parámetros que alcanzaban, para la zona costa (municipios de Ensenada, Tecate, Tijuana, y Playas de Rosarito), un promedio diario de producción por vaca de 29 litros (Secretaría de Fomento Agropecuario [SEFOA], 2011).

Según la Unión Ganadera Regional de Baja California (UGRBC) en 2010 había un total de 140 productores registrados en la Asociación Ganadera Local (AGL), 28 pertenecientes al municipio de Tecate, 60 en la AGL de Tijuana, 36 en Ensenada y 16 en Mexicali; en este último caso el presidente de la Asociación de Productores de Leche de Mexicali sostuvo que existían solo ocho (Comunicación personal, Rubio, agosto 17, 2013). Esto representa una reducción real del 50 %. Con base en este registro, según la SEFOA, se estaría produciendo localmente cerca de 500 mil litros de leche con un consumo estatal aproximado de 800 mil en los que se incluye leche fresca y derivados lácteos o "fórmulas". En el caso de la producción del municipio de Mexicali los ganaderos señalan que en 2006 se producían 80 mil litros destinados a la industria y 120 mil a la elaboración de quesos; en 2014 apenas 30 mil litros para la industria lechera local en establos tecnificados y no se tiene una estimación real de la producción de traspatio. Los ganaderos parcialmente tecnificados, prácticamente desaparecieron.

El eventual retroceso o estancamiento del sector lechero de la entidad exige explicaciones; este proceso es particularmente crítico por la naturaleza de este alimento básico. En esa condición su producción y abasto es de interés público; en tal sentido resulta crucial la identificación de los problemas que afectan la actividad y que los mismos representantes de los diferentes eslabones de esta cadena agroalimentaria exponen. Los problemas se expresan de manera resumida en el precio por litro que los productores reciben de los industriales, se genera un grave punto de conflicto; en este diferendo el argumento de ambos son los costos, los industriales terminan im-

industrialists, which generates a serious point of conflict; in this dispute, the argument of both parties is the costs, the industrialists end up imposing themselves and the producers are affected in terms of profitability. However, it is necessary to disaggregate, identify, and conceptualize the problem in order to understand it and develop options that mean favorable routes for the development of dairy production and supply in the state. Thus, with a disciplined procedure, this work aims to obtain answers to the questions: What are the relevant problems that explain the unfavorable conditions of the state's milk producers for the sustainability and growth of the activity?, What elements comprise these problems?, Who are the relevant agents involved in these processes and what is the role they play?, What strategic recommendations can help to improve the development conditions of producers?

Materials and methods

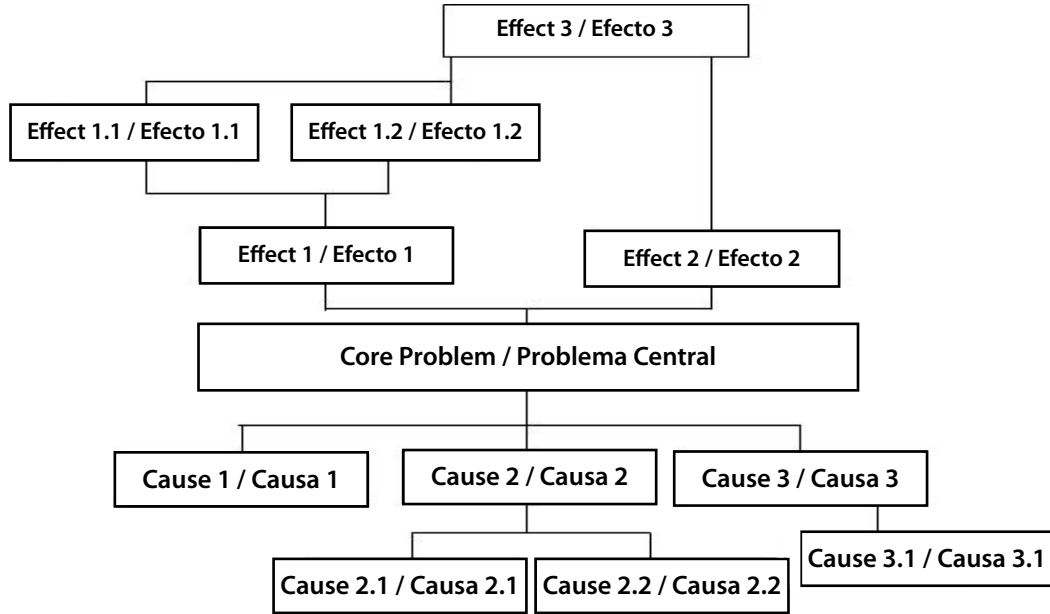
Methodologically, the construction of problem and objective trees is used, i.e. the elaboration of the diagnosis with a Tree of Means and Goals (Figure 1) for the identification of causes and effects, followed by the construction of an objective tree where means and goals are identified (Figure 2), In the transition between problem and objectives trees, the "central problem" is replaced by "central objective", and the causes and effects by means and ends. Specifically, the application of the method identifies the problems affecting the entity's milk producers, conceptualizes them, classifies them, disaggregates their components, recognizes the agents involved and the role that each one plays; with this information, viable and strategic recommendations are elaborated in the search for more favorable conditions for the development of the activity and of the producers themselves. The methodological procedure includes: a) identifying and gathering relevant information on the circumstances and problems of the dairy agri-food chain, b) identifying key agents representing the following categories: producers, industrialists, government managers, academic specialists, professional service providers, suppliers, etc., c) designing a semi-structured interview that methodologically integrates and disaggregates the research questions to key agents, d) analysis, organization and synthesis

poniéndose y los productores resultan afectados en la rentabilidad. Sin embargo, es necesario desagregar, identificar y conceptualizar el problema para comprenderlo y construir opciones que signifiquen rutas favorables para el desarrollo de la producción y abasto de lácteos en el estado. Así, con procedimiento disciplinado este trabajo se propone obtener respuestas a las preguntas ¿cuáles son los problemas relevantes que explican las condiciones desfavorables que tienen los productores de leche del estado para el sostenimiento y crecimiento en la actividad?, ¿de qué elementos se componen estos problemas?, ¿quiénes son los actores relevantes que intervienen en estos procesos y cuál es el papel que desempeñan?, ¿qué recomendaciones estratégicas pueden ayudar a mejorar las condiciones de desarrollo de los productores?

Materiales y Métodos

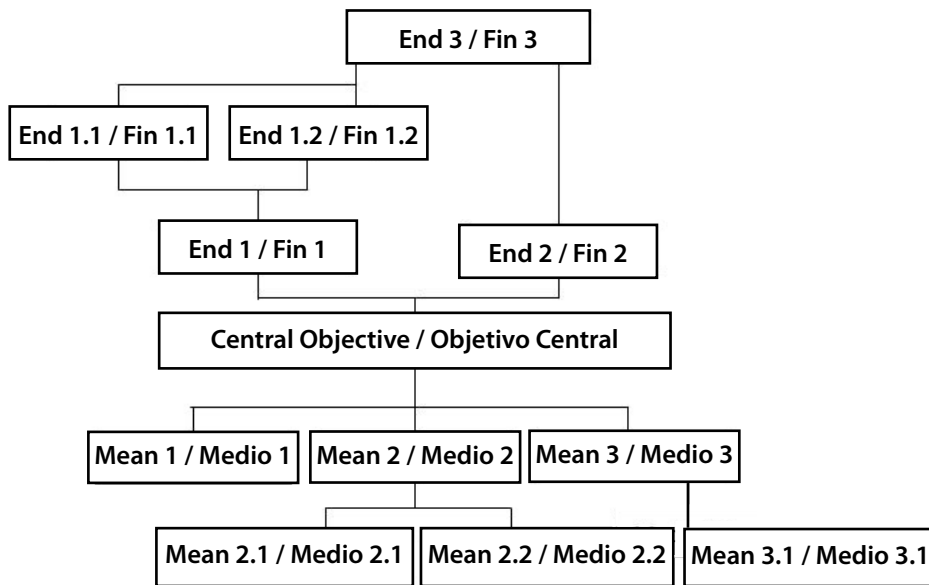
Metodológicamente se recurre a la construcción de árboles de problemas y objetivos, es decir, la elaboración del diagnóstico con un Árbol de Medios y Fines (Figura 1) para la identificación de las causas y efectos, subsecuentemente la construcción de un árbol de objetivos donde se identifican medios y fines (Figura 2), en el tránsito entre árbol de problemas y de objetivos se reemplaza el "problema central" por "objetivo central", y las causas y efectos por medios y fines. De manera específica la aplicación del método identifica los problemas que afectan a los productores de leche de la entidad, conceptualizarlos, clasificarlos, desagregar sus componentes, reconoce los actores que intervienen y el papel que cada uno desempeña; con esta información se elaboran recomendaciones viables, estratégicas en la búsqueda de condiciones más favorables para el desarrollo de la actividad y de los mismos productores. Integralmente, el procedimiento metodológico comprende: a) identificar y reunir la información relevante sobre las circunstancias y problemáticas de la cadena agroalimentaria de la leche, b) identificar actores clave representativos de las categorías: productores, industriales, directivos gubernamentales, académicos especialistas, prestadores de servicios profesionales, proveedores, etc., c) el diseño de una entrevista semiestructurada que integra y desagrega metodológicamente las preguntas de investigación a actores clave, d) análisis,

Figure 1. Tree of causes and effects.
Figura 1. Árbol de causas y efectos.



Source: Ortegón et al. (2005). / Fuente: Ortegón et al. (2005).

Figure 2. Means-ends tree.
Figura 2. Árbol de medios y fines.



Source: Ortegón et al. (2005). / Fuente: Ortegón et al. (2005).

of the information obtained, e) construction of a Problem Tree (AdP by its Spanish acronym) to determine causes and effects, or in specific terms a Tree of Causes and Effects (ACE by its Spanish acronym), subsequently the development of an Objective Tree (AdO by its Spanish acronym), that is, a Means and Ends Tree (AMF by its Spanish acronym) for the construction of options and lines of solution, and f) development of recommendations that contribute to obtain a development plan for the state's dairy sector.

The referenced study was conducted between May 2013 and April 2014. Interviews were carried out from July to September 2013, specifically covering the five municipalities of Baja California. Using the Chain Sampling (MC by its Spanish acronym) technique, 42 relevant agents were identified and interviewed: 15 producers and leaders of producers' organizations, who were the starting group; three industrial-marketers, five government executives and former executives, seven academic and specialist advisors, eight professional service providers, four equipment and input suppliers. The CM method:

It is a compound of homogeneous and structural sampling and is based on the premise that knowledge and information are unequally distributed [...] the interest is to locate those people who have the most information about a phenomenon or social system. To carry out the sampling, a series of initial informants are asked to share the names of other potential sample members who are part of the special population. This type of sampling is, in short, an approximation system for locating informants based on the internal interrelationships of any group (Alaminos & Castejón, 2006, p. 53).

Subsequently, through the AdP, an exercise of analysis and determination causes and effects was carried out with the identified agents. The AdP method (Figure 1) consists of organizing the analysis based on a brainstorming session around a problem situation (Ortegón; Pacheco & Roura, 2005). The methodological sequence is as follows.

a) Given the manifestation of a problem situation, it is necessary to analyze and identify what are considered to be the main problems of the being analyzed situation. This is due to the normal existence of

organización y síntesis de información obtenida, e) construcción de un Árbol de Problemas (AdP) para la determinación de causas y efectos, o en términos específicos un Árbol de Causas y Efectos (ACE), subsecuentemente la elaboración de un Árbol de Objetivos (AdO), es decir un Árbol de Medios y Fines (AMF) para la construcción de opciones y líneas de solución, y f) elaboración de recomendaciones que contribuyan a la obtención de un plan de desarrollo para el sector lechero del estado.

El estudio referenciado se llevó a cabo entre los meses de mayo de 2013 y abril de 2014. La aplicación de las entrevistas se realizó en los meses de julio a septiembre de 2013, especialmente el levantamiento comprende el territorio del estado de Baja California en sus cinco municipios. Utilizando la técnica de Muestreo en Cadena (MC), se identificaron y entrevistaron 42 actores relevantes: 15 productores y dirigentes de organismos de productores, quienes fueron el grupo de arranque; tres industriales-comercializadores, cinco directivos y exdirectivos gubernamentales, siete académicos y asesores especialistas, ocho prestadores de servicios profesionales, cuatro proveedores de equipo e insumos. El método de MC:

Es un compuesto del muestreo homogéneo y del estructural y parte de la premisa de que el conocimiento y la información están desigualmente distribuidos[...] el interés es localizar aquellas personas que poseen la mayor información sobre un fenómeno o sistema social. Para efectuar el muestreo, se pide a una serie de informantes iniciales que compartieran los nombres de otros miembros potenciales de la muestra y que formarían parte de la población especial. Este tipo de muestras es, en definitiva, un sistema de aproximación para localizar informantes, a partir de las tramas de interrelaciones internas de todo grupo (Alaminos & Castejón, 2006, p.53).

Posteriormente por del AdP se realizó un ejercicio de análisis y determinación de causas y efectos con los actores identificados. El método de AdP (Figura 1) consiste en organizar el análisis a partir de una lluvia de ideas en torno a una situación problema (Ortegón; Pacheco & Roura, 2005). La secuencia metodológica es la siguiente.

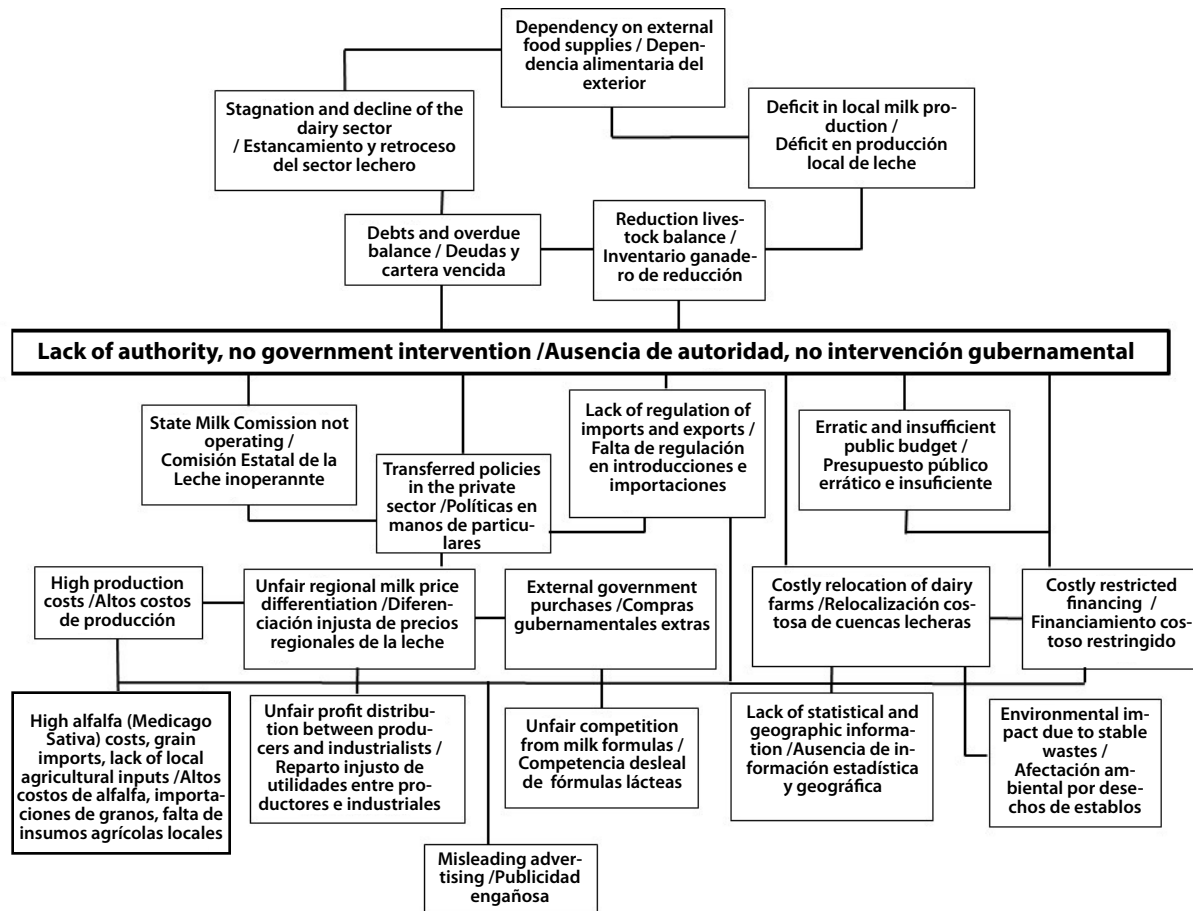
multiple causes that can explain the problem and the effects that derived from it; b) in terms of analysis, it is recommended that from an initial brainstorming session, establish what is, in the opinion of the group of analysts, the central problem affecting the analyzed community. Here, the criteria of priority and selectivity are applied; c) define the most important effects of the problem in question, thus analyzing and verifying its importance. This involves having an idea of the order and severity of the consequences of the problem that has been detected, which warrants the search for solutions worthwhile; d) note down the causes of the central problem detected. This means looking for which elements are or could be causing the problem; e) once the central problem, causes, and effects are identified, the cause-and-effect tree (ACE) diagrams associated with the problem are constructed; f) It is necessary to review the validity and integrity of the drawn tree as often as necessary. That is to ensure that causes represent causes and effects represent effects, i.e. that the central problem is correctly defined and that causal relationships are correctly expressed.

Once the causes were identified and validated, a means-ends tree (AMF) was constructed to analyze and find alternative solutions (Figure 2). The AMF is the conclusive part of the methodology and consists of a) Changing all the negative conditions of the AdP to positive conditions that are deemed to be desired and feasible to be achieved. By doing this, all those that were causes in the AdP become means in the AdO, those that were effects are transformed into ends, and what was the central problem becomes the central objective or purpose of the project. Furthermore, the importance lies in the fact that the latter must be used to deduce the alternative solutions to overcome the problem; b) Once the AdO has been constructed, it is necessary to examine the established means-end relationships that have been established to guarantee the validity and integrity of the analysis scheme. If inconsistencies are identified when revealing the ACE, it is necessary to review it again to detect any flaws that may have occurred. If deemed necessary, and always keeping in mind that the method must be as flexible as necessary, formulations that are not considered correct should be modified, new ob-

a) Dada la manifestación de una situación problema, hay que analizar e identificar lo que se considere como problemas principales de la situación analizada. Esto debido a la normal existencia de múltiples causas que pueden explicar el problema y los efectos que se derivan de ello; b) en términos de análisis se recomienda que a partir de una primera lluvia de ideas establecer cuál es, a juicio del grupo de analistas, el problema central que afecta a la comunidad analizada. Aquí, lo que se aplica son los criterios de prioridad y selectividad; c) definir los efectos más importantes del problema en cuestión, de esta forma se analiza y verifica su importancia. Se trata de tener una idea del orden y gravedad de las consecuencias que tiene el problema que se ha detectado lo cual hace que se amerite la búsqueda de soluciones; d) anotar las causas del problema central detectado. Esto significa buscar qué elementos están o podrían estar provocando el problema; e) una vez que tanto el problema central, las causas y los efectos están identificados se construyen los diagramas del árbol de causas y efectos (ACE) asociados al problema; f) es necesario revisar la validez e integridad del árbol dibujado, todas las veces que sea necesario. Esto es, asegurarse que las causas representen causas y los efectos representen efectos, es decir, que el problema central esté correctamente definido y que las relaciones causales estén correctamente expresadas.

Una vez identificadas y validadas las causas se construyó un árbol de medios y fines (AMF) para analizar y encontrar alternativas de solución (Figura 2). El AMF es la parte conclusiva de la metodología, y consiste en, a) Cambiar todas las condiciones negativas del AdP a condiciones positivas que se estime que son deseadas y viables de ser alcanzadas. Al hacer esto, todas las que eran causas en el AdP se transforman en medios en el AdO, los que eran efectos se transforman en fines y lo que era el problema central se convierte en el objetivo central o propósito del proyecto. La importancia, además, radica en que de este último se deben deducir las alternativas de solución para superar el problema; b) una vez que se ha construido el AdO de objetivos es necesario examinar las relaciones de medios y fines que se han establecido

Figure 3. Baja California dairy sector: tree of causes and effects
Figura 3. Sector lechero de Baja California: árbol de causas y efectos



Source: Authors' self-made. / Fuente: Elaboración propia.

jectives that are considered relevant and that were not included should be added, and those that were not effective should be eliminated.” (Ortegón et al., 2005).

Results and discussion

Costly problems

The methodologically disciplined analysis and reflection on the brainstorming exercise carried out made it possible to identify and build concepts with centrality that have to do with production costs, price differentiation, unfair competition of alternative products, the spatial location and relocation of production units, financing and the conclusive confluence of these in the central visualization of a costly absence of authority. Figure 3 illustrates the ACE constructed with these elements and the detail of the discussion informed with the data obtained, which is elaborated in the following sections.

para garantizar la validez e integridad del esquema de análisis. Si al revelar el ACE se determinan inconsistencias, es necesario volver a revisarlo para detectar las fallas que se puedan haber producido. Si se estima necesario, y siempre teniendo presente que el método debe ser todo lo flexible que sea necesario, se deben modificar las formulaciones que no se consideren correctas, se deben agregar nuevos objetivos que se consideren relevantes y que no estaban incluidos y se deben eliminar aquellos que no eran efectivos”. (Ortegón et al., 2005).

Resultados y Discusión

Los costosos problemas

El ejercicio de análisis y reflexión metodológicamente disciplinada sobre la lluvia de ideas realizado permitió identificar y construir conceptos con centralidad que tienen que ver con los costos de pro-

Table 1. Milk: proportion by feed costs (%)
Cuadro 1. Leche: proporción por costos de alimentación (%)

UNAM	Spain / España	USA 28	SE	Tijuana
76.93	65.4	65.0	59.9	59.5

Source: Based on data from SICEC (2014), UNILEON (2014), LactoData (2014), SE (2012), AGLPLT (2013). (Personal communication, Barona, August 17, 2013)¹.

Fuente: Elaboración a partir de datos de SICEC (2014), UNILEON (2014), LactoData (2014), SE (2012), AGLPLT (2013). (Comunicación personal, Barona, agosto 17, 2013)¹.

Table 2. Milk: feed costs per liter (2012 pesos)
Cuadro 2. Leche: costos de alimentación por litro (pesos 2012)

General	Chihuahua	Coahuila	SE	USA 28	Tijuana
5.61	5.85	3.99	3.92	3.28	6.49
Percentage variation respect to Tijuana / Variación porcentual respecto a Tijuana					
-14	-10	-39	-40	-49	-

Source: Based on data from SICEC (2014), UNILEON (2014), LactoData (2014), SE (2012), AGLPLT (2013).
Fuente: Elaboración a partir de datos de SICEC (2014), UNILEON (2014), LactoData (2014), SE (2012), AGLPLT (2013)

Expensive production

Meals represent approximately 60% of milk production costs. Its efficient operation is essential to ensure profitability. In this regard, for comparative purposes, the production costs reported by dairy farmers in the state, specifically in the coastal region (Tijuana), in August 2012, and those reported by other sources, are shown in Table 1.

The costs reported by Tijuana producers (Table 2) are higher than others, for example, in Chihuahua it was 10% cheaper and in Coahuila 40% cheaper. The difference with respect to the United States was around 49%.

This difference has been present in historical reports, a comparative study of milk production costs in technified farms between Valle Imperial, in California, USA, and el Valle de Mexicali in Baja California, México (Guerro et al., 1991), showed that there was a difference of 27.9% which was mainly explained by the higher financial cost in Mexico and the taxes to be paid, the average profit was higher in the USA, by 38.3%.

Producers pointed out that they could not compete in feeding costs, diets contain 50% alfalfa as forage and market variations severely affected them. Alfalfa

ducción, la diferenciación de precios, la competencia desleal de productos alternativos, la localización y relocalización espacial de unidades productivas; el financiamiento y la conclusiva confluencia de estos en la visualización central de una costosa ausencia de autoridad. La Figura 3 ilustra el ACE construido con estos elementos y el detalle de la discusión alimentada con los datos obtenidos que se elabora en los siguientes apartados.

Costosa producción

Los alimentos representan alrededor del 60 % de los costos de producción de leche. Su operación eficiente es obligatoria en la búsqueda de la rentabilidad de la actividad. A este respecto, con propósitos comparativos, los costos de producción que los ganaderos de la entidad, específicamente de la zona costa (Tijuana), en agosto de 2012, y los reportados por otras fuentes se muestran en el Cuadro 1.

Los costos reportados por los productores de Tijuana (Cuadro 2) son superiores a otros, por ejemplo, en Chihuahua se producía un 10 % más barato y en Coahuila un 40 %. La diferencia respecto a Estados Unidos rondaba el 49 %.

¹Fernando Barona, producer of the Local Livestock Association of Milk Producers of Tijuana.

¹Fernando Barona, productor de la Asociación Ganadera Local de Productores de Leche de Tijuana.

Table 3. Milk: sales price per liter (2012 pesos)
Cuadro 3. Leche: precio de venta por litro (pesos 2012)

General	Chihuahua	Coahuila	SE	USA 28	Tijuana
4.96	5.11	4.5	4.52	4.76	6.03
Percentage variation with respect to Tijuana / Variación porcentual respecto a Tijuana					
-18	-15	-25	-25	-21	-

Source: Based on data from SICEC (2014), UNILEON (2014), LactoData (2014), SE (2012), AGLPLT (2013).
 Fuente: Elaboración a partir de datos de SICEC (2014), UNILEON (2014), LactoData (2014), SE (2012), AGLPLT (2013).

Table 4. Milk: profit per liter (2012) pesos)
Cuadro 4. Leche: utilidad por litro (pesos 2012)

General	Chihuahua	Coahuila	SE	USA 28	Tijuana
-0.65	-0.74	0.51	0.60	1.48	-0.46

Source: Based on data from SICEC (2014), UNILEON (2014), LactoData (2014), SE (2012), AGLPLT (2013).
 Fuente: Elaboración a partir de datos de SICEC (2014), UNILEON (2014), LactoData (2014), SE (2012), AGLPLT (2013).

is the main forage in the diet of dairy cattle in Baja California, its palatability, nutritional contribution, availability, ease of handling, inventory durability, and together with the commercial systems created around the dairy industry through accessible credits in the face of a local oversupply, forged the model. Even in 2011, the price of alfalfa soared by more than 170% in some cases (Mexicano , 2011; Portal de información rural [InfoRural], 2011). The external demand for forage drove up its price; the reasons for this commercial phenomenon were not objectively studied, but it decapitalized producers and increased the cost of production for feed by 70%.

Mexico's trade liberalization opened up the possibility of acquiring cheap inputs from the U.S., which cattle farmers took advantage of by neglecting local markets, especially for feed and grains. This was compounded by the dismantling of the local oil industry derived from cotton cultivation, which cancelled the supply of food by-products for animal consumption, such as flourinoline. The result was greater dependence on international prices, essentially for grains. It should also be noted that technical references dating back more than two decades indicated that without horizontal and vertical integration, livestock production tended not to be competitive (Villareal et al., 1998).

Costly difference: the price of milk

Regarding sales prices, the municipality of Tijuana was above the national average (Table 3), except for

Esta diferencia ha estado presente en los reportes históricos, un estudio comparativo de costos de producción de leche en establos tecnificados entre el Valle Imperial, en California, EE. UU. y el Valle de Mexicali en Baja California, México (Guerrero et al., 1991), demostró que existía una diferencia de 27.9 % los cuales se explicaban fundamentalmente por el costo financiero mayor en México y los impuestos a pagar, la utilidad promedio fue superior en los EE. UU., en 38.3 %. Los productores señalaron que es en costos de alimentación en lo que no se podía competir, las dietas contienen 50 % de alfalfa como forraje y las variaciones del mercado los afectó severamente. La alfalfa es el forraje principal en la dieta del ganado lechero en Baja California, su palatabilidad, aporte nutricional, disponibilidad próxima, facilidad de manejo, durabilidad en inventarios, y junto con los sistemas comerciales creados alrededor de la industria láctea a través de créditos accesibles ante una sobreoferta local, forjaron el modelo. Incluso en 2011 el precio de la alfalfa se disparó hasta en más del 170 % en algunos casos (Mexicano, 2011; Portal de información rural [InfoRural], 2011). La demanda externa del forraje hizo elevar su precio, objetivamente no se estudió la razón de este fenómeno comercial, pero descapitalizó a los productores e incrementó a 70 % el costo de producción por concepto de alimentación.

La apertura comercial de México abrió la posibilidad de adquirir insumos baratos en EE. UU., lo cual aprovecharon los ganaderos descuidando los mercados

Table 5. Increase in the price of a gallon of milk, period 2005-2013 Cuadro 5. Aumento al precio del galón de leche, periodo 2005-2013

Sector	Weights gallon / Pesosgalón	%
Industry / Industria	12.41	69
Producer / Productor	5.60	31
Total	18.01	100

Source: Author's self-made based on AGPLT data. / Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la AGPLT.

Michoacán which reported prices paid of seven pesos and which could be explained by the fact that a good number of producers marketed directly to retail as raw milk and were non-technified producers. In terms of profitability, product prices showed negative differences within the national framework (Table 4), even with data from the Ministry of Economy (Secretaría de Economía SE by its Spanish acronym) the profit was 0.60 pesos per liter which represented a meager profitability of 9.06%.

The data in Table 5 were based on an average daily production per cow of 29 liters, and in these parameters, the question was how can the activity be maintained with such losses? Since it was impossible to estimate the break-even point, field information was obtained on real production averages. These reached 33 to 35 liters per cow per day in the coastal area. In the municipality of Mexicali, the figure was 32 liters, of course, on high-tech farms. On the other hand, there was an alternative trade of milk for cheese, accounting for between 25 and 30% of production, which was not included in the accounts for purposes of determining the real profit of the activity. In this sense, the profit re-estimation exercise for milk profit in Tijuana reached 0.32 pesos per liter. This figure represented a break-even point of 24.61 liters of daily production per cow, but this level still represented a meager profit margin of 5.6%.

For cattle farmers, the main problem with the industry is that they weren't paid a fair price. In 2012, it reached six pesos per liter against the cost of production of 6.50. Organized technified producers published several studies revealing their financial situation. SEFOA revealed historical trends in the behavior of input prices, as well as those related to the liberalization of milk prices. Cattle farmers were not asking for money from the treasury to subsidize profitability; they demanded reciprocity from the industrial sector: a liter of milk was sold for 15 pesos,

locales, especialmente de forrajes y granos. A ello se sumó el desmantelamiento de la industria aceitera local derivada del cultivo del algodón que canceló la oferta de subproductos alimenticios para consumo animal, como la harinolina. El resultado fue mayor dependencia de los precios internacionales, esencialmente de granos. También habría de destacar que existen referencias técnicas desde hace más de dos décadas que señalaban que sin integración horizontal y vertical, la producción ganadera tendía a no ser competitiva (Villareal et al., 1998).

Costosa diferencia: el precio de la leche

Respecto a los precios de venta, se observa que el municipio de Tijuana estaba por encima de la media nacional (Cuadro 3), excepto Michoacán que reportó precios pagados de siete pesos y que pudieran explicarse en función de que un buen número de productores comercializaban de manera directa al menudeo como leche cruda y eran productores no tecnificados.

En cuanto a la utilidad los precios del producto mostraban diferencias negativas en el marco nacional (Cuadro 4), incluso con datos de la Secretaría de Economía (SE) la ganancia era de 0.60 pesos por litro lo cual representaba una exigua rentabilidad de 9.06%. Los datos del Cuadro 5 se basaron en la producción promedio diaria por vaca de 29 litros y en esos parámetros la interrogante fue ¿cómo se mantiene la actividad con tales pérdidas? Ante la imposibilidad de estimar el punto de equilibrio se obtuvo información de campo sobre los promedios reales de producción, estos alcanzaron en la zona de la costa 33 a 35 litros diarios por vaca. En el municipio de Mexicali el dato fue de 32 litros, por supuesto en explotaciones tecnificadas. Por otro lado, existió un comercio alterno de leche para queso de entre el 25 y 30 % de la producción y que no se incluyó en las cuentas para efectos de

and the producer was paid six pesos, a difference of nine pesos between the producer and the consumer.

The behavior in the distribution or sharing of the increase in the price of milk in the period 2005 to 2013 between industrialists and farmers is quantified in Table 5: 69% for the industry segment, 31% for producers.

With this logical distribution, farmers argued that it was not a matter of increasing milk prices, but of a more balanced distribution of profits.

Expensive unfair competition: milk formulas

The marketing of so-called "dairy formulas" or "dairy derivatives" had a national dimension, a serious problem that generated multiple complaints due to the lack of regulation stemming from their chemical composition and misleading advertising. Legally backed formulas were sold as an option for low-income people or for those who were unaware of their questionable nutritional value.

Before 2006, the dairy products market in Baja California was not significant. With the entry of Lala, a company from Coahuila, intense competition emerged, and the local industry pointed out its unfair nature. A clear example was when, in 2014, Lala sold milk formulas in one gallon presentation for 35 pesos, between 4 and 7 pesos less than the price of genuine milk. This fact made the entire industry lower prices, transferring the effect of the reduction to the farmers. Local cattle farmers stated that Lala itself, introduced 450,000 liters of dairy products to the state. Meanwhile, the local company Azucena bought 8,000 liters from farmers on the coast, but sold 80,000 liters in formulas or dairy products.

Since 2010, producers have insisted on the omission of the regulation requiring the removal of the word "milk" from all products that do not come from cows and do not contain at least 20 grams of protein per liter. The National Front of Milk Producers and Consumers reported that 67% of supposed dairy products sold in large autoservice stores did not contain milk; 6 million liters of imported dairy products marketed as milk were consumed daily in the country, but actually they are dairy formulas manufactured by fake industries and even self-service stores sold them as their own brands (Portal Lechero [Portal], 2014).

Expensive localization and relocation of dairy farms

The most productive technified farms are those loca-

determinar la utilidad real de la actividad. En tal sentido el ejercicio de reestimación de la ganancia para la leche en Tijuana alcanzó 0.32 pesos por litro. Este dato significó un punto de equilibrio de 24.61 litros de producción por vaca diarias, pero este nivel aún representaba un escaso margen de utilidad del 5.6 %

Para los ganaderos el problema principal de la actividad es que no se les pagaba un precio justo, en 2012 llegó a seis pesos por litro contra el costo de producción de 6.50. Por parte de los productores tecnificados organizados se publicaron varios estudios que revelaba su situación financiera. En la SEFOA se conocieron las tendencias históricas del comportamiento de los precios de los insumos, así como los propios de la liberación de los precios de la leche, los ganaderos no pedían que del erario se solventara el dinero para subvencionar la rentabilidad, pedían reciprocidad del sector industrial: el litro de leche se vendía a 15 pesos y se pagaba a seis pesos al productor, nueve pesos de diferencia entre el productor y el consumidor.

El comportamiento en la distribución o reparto del aumento del precio de la leche en el periodo 2005 a 2013 entre los industriales y los ganaderos se cuantifica en el Cuadro 5: 69 % para el segmento de la industria, el 31 % para los productores.

Con esta lógica de reparto, los ganaderos sostenían que no se trataba de aumentar los precios de la leche, sino de repartir de manera más equilibrada las ganancias.

Costosa competencia desleal: las fórmulas lácteas

La comercialización de las llamadas "fórmulas lácteas" o "derivados lácteos" tuvo dimensión nacional, un grave problema que generó múltiples quejas por la falta de regulación derivada de su constitución química y publicidad engañosa. Respaldadas legalmente las fórmulas se vendieron como una opción para gente de bajos recursos o para aquellos que ignoraban su cuestionable aporte nutricional.

Antes de 2006 en Baja California el mercado de los derivados lácteos no era significativo. Con la entrada de la empresa Lala, de origen coahuilense, emerge una intensa competencia y la industria local señala su naturaleza desleal. Un ejemplo claro fue cuando en 2014 Lala vendía fórmulas lácteas en presentación de un galón a 35 pesos, entre 4 y 7 pesos menos

ted in the coastal zone, essentially Tijuana, this area is truly a metropolitan zone and means the largest market in the state, there lies more than 50% of the population of the entity. Tijuana was above 1.67 million inhabitants in 2013, the sum of this extensive urban and suburban area which includes the municipalities of Tijuana, Playas de Rosarito and Tecate reached 2 million people, out of a state total of more than 3.5 million (State Development Planning Committee [Comisión de Planeación del Desarrollo del Estado COPLADE by its Spanish acronym], 2013).

Tijuana's urban growth is demanding land where the remaining dairy farms are located. The need for space, water, fecal waste and dairy effluents; harmful wildlife, visual and air pollution, and land values are all increasingly pressing for cattle farmers, who have been forced to look for space to relocate their dairy farms to new watersheds. For the Jersey dairy industry, the oldest and most emblematic dairy company on the coast, the eventual disappearance of Tijuana's dairy farm is not a short-term problem. Under current production standards, it maintains that 8,620 cows are needed to support nine efficient dairy farms. While it is certain that the city will soon demand the land where these farms are currently located, these farms may migrate to properties located in Ojos Negros or the Valle de Guadalupe in the municipality of Ensenada, between 100 and 140 kilometers from the city of Tijuana. Either way, it means a costly relocation.

Expensive and lacking financing

Dairy farmers have reached the category of being non creditworthy, and all of them have mounting debts. The producers created the integrating company Alimentos y Productos para Ganado Lechero SA de CV (APGL) to reduce production costs by purchasing in volume and transferring inputs at a minimal profit margin. Profitability problems have had an impact on APGL due to the non-payment of debts by several of its associates. This has placed the company with serious financial liquidity problems, on the verge of bankruptcy; It should be noted that the company does not have credit lines to support dairy farmers, and the liquid guarantees that SEFOA has granted and whose scope is very limited. This has been the only way for a few producers to obtain scarce finan-

que el precio de la leche genuina, es decir, disminuía significativamente la cantidad de leche real en el producto sustituyéndolo por suero, caseinato y otros insumos. Esta maniobra obligó a toda la industria a bajar los precios transfiriendo el efecto de reducción a los ganaderos. Los ganaderos locales afirmaron que Lala por sí sola, introdujo al estado 450 mil litros en su oferta de derivados lácteos. Por su parte, la empresa local Azucena compró ocho mil litros a ganaderos de la costa, pero vendió 80 mil en fórmulas o derivados lácteos.

Desde 2010 productores insisten en la omisión de la norma que obliga a retirar la palabra "leche" de todos aquellos productos que no provengan de vaca y no contengan por lo menos 20 gramos de proteína por litro. El Frente Nacional de Productores y Consumidores de Leche, denunció que el 67 % de los productos supuestamente lácteos que se vendían en las grandes cadenas comerciales, no contenían leche; diariamente se consumían en el país 6 millones de litros de derivados lácteos importados que se comercializan como leche, pero en realidad son fórmulas lácteas que maquilaban industrias falsas e incluso las tiendas de autoservicio las ponían a la venta como marcas propias (Portal Lechero [Portal], 2014).

Costosa localización y relocalización de cuencas lecheras

Las explotaciones tecnificadas más productivas son las localizadas en la zona costa, esencialmente Tijuana, esta área es realmente una zona metropolitana y significa el mercado más grande del estado, ahí radica más del 50 % de la población de la entidad, solo Tijuana estaba por encima de 1.67 millones de habitantes en 2013, la suma de esta extensa zona urbana y suburbana que comprende los municipios de Tijuana, Playas de Rosarito y Tecate alcanzaba los 2 millones de personas, de un total estatal de más de 3.5 millones (Comité de Planeación del Desarrollo del Estado [COPLADE], 2013).

El crecimiento urbano de Tijuana reclama terrenos donde se encuentran los establos lecheros que aún quedan en actividad. Las necesidades de espacio, de agua, los residuos fecales y las descargas de los establos; la fauna nociva, la contaminación visual y del aire, así como el valor del suelo, son presiones crecientes en intensidad para los ganaderos que han

Table 6. Baja California: support for dairy farmers (millions of pesos).
Cuadro 6. Baja California: apoyos para ganaderos lecheros (millones de pesos).

Municipality/ Municipalidad	2008	2009	2010	2011	2012
Ensenada	3.6	4.8	3	3.1	1.8
Mexicali	9.3	12.8	2.6	4.5	2.5
Rosarito	2.2	1.7	1.9	0.0	0.0
Tecate	5.6	6.7	4.4	1.4	0.7
Tijuana	3.8	4.3	3.5	1.1	1.1
BC Total	24.5	30.3	15.5	10	4.5

Source: SEFOA (2013). / Fuente: SEFOA (2013).

cing. The livestock inventory has been declining, and with it, dairy farms have disappeared.

The core issue: costly absence of government authority

From the producers' perspective (Personal communication, Barona, August 17, 2013; AGPLT, 2013), the role of SEFOA has been omitted in activities that required mandatory regulatory intervention by the authorities. The lack of intervention or deficient intervention by government authorities in matters of planning, generation and source of information, regulation of introductions and imports, promotion of local production and preference of local public sector; coordination of government areas and levels of government with effectiveness criteria and the eradication of duplicities; arbitration or intermediation between representatives of the food chain sectors, has had effects that have meant costs, above all, for the producers' segment. It has been left in the hands of private individual decisions that require the supervision of the public authorities, which has resulted in conditions of serious disadvantage for livestock farmers and unfair competition for dairy industrialists and companies.

Without effective planning and with erratic and arbitrary budget allocation, planning exercises are only fulfilling of an administrative-legal requirement. Between 2008 and 2012, 84.8 million pesos were allocated (Table 6) without any reference to an established plan or program.

The accentuated deficiency of official information on this sector, and others, can be seen in the uns-

tenido la necesidad de buscar espacios para relocalizar los establos en nuevas cuencas. Para la industria Jersey, la más antigua y emblemática empresa lechera de la costa, la eventual desaparición de la cuenca lechera de Tijuana no es un problema de corto plazo, bajo los estándares actuales de producción sostiene que se requieren 8 620 vacas en producción que puedan lograr nueve establos eficientes. Si bien es cierto la ciudad pronto demandará los terrenos donde actualmente se encuentran, estos pueden emigrar a predios localizados en Ojos Negros o el Valle de Guadalupe en el municipio de Ensenada a una distancia de entre 100 y 140 kilómetros de la ciudad de Tijuana. De cualquier forma, significa una costosa relocalización.

Costoso y ausente financiamiento

Los productores de leche han arribado a la categoría de no ser sujetos de crédito, la totalidad de ellos tiene deudas acrecentadas. Los productores crearon la empresa integradora Alimentos y Productos para Ganado Lechero S.A. de C.V. (APGL) para disminuir costos de producción haciendo compras en volumen y transfiriendo los insumos con un margen de ganancia mínimo. Los problemas de rentabilidad han transmitido sus efectos a la APGL por incumplimiento en el pago de deudas de varios de sus asociados. Esto ha colocado a la empresa con serios problemas de liquidez a punto de la quiebra; cabe señalar que la sociedad no cuenta con líneas crediticias de apoyo a ganaderos, las garantías líquidas que la SEFOA ha otorgado y cuyos alcances son limitadísimos. Ha sido la única vía para que pocos productores pudieran

table and brief official websites of the Ministry of Agriculture, Livestock, Rural Development Fisheries and Food (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación SAGARPA by its Spanish acronym) of the Federal Government and SEFOA. This generates reasonable doubts about the inventories of the State Information Office for Sustainable Development of Baja California (OEIDRUSBC). In terms of regulation, the most notable issues are the conditions for the entry of dairy products into the state, whether from other states or from other countries, especially the United States. The same traditional companies in the region, Jersey de Tijuana and Imperial de Mexicali, which also prominently participate in this dynamic, argue that the government should more strictly regulate the entry of inputs for dairy products. The historical precedent is the creation in 1994 of the State Milk Commission (CELBC) within the State Development Planning Committee (COPLADE), precisely to “cooperate with all the authorities in charge of the authorization, surveillance, and control of the production, industrialization, and marketing of this product and improve the necessary conditions to guarantee and optimize its competitiveness and quality for the public consumer, as well as the stability of the dairy production plant” (Gobierno del Estado de Baja California [GEBEC], 1994, p. 16). The constitutive decree specifies that its creation was a request to the state governor from dairy producers and dairy industrialists. Twenty years later, the producers’ assessment remains the same: an absence of the authority’s role, despite the fact that the Agricultural Development Law of Baja California, specifically Chapter IX “On the entry and exit of livestock, products, and byproducts in the state,” empowers the government to regulate the corresponding transit guides issued by SEFOA (GEBEC, 2010, p. 106).

Previous sections we have pointed out figures that show evidence of the entry into the state, without rigorous control of significant volumes of milk and dairy products into the state. These entries have been made by companies, but also the government of the entity has contributed to generate conditions that discourage local trade, prioritizing the foreign market; exemplary was the case of the purchase of “between 8,000 and 10,000 liters per day” that local

conseguir escaso financiamiento. El inventario ganadero se ha ido reduciendo y con ello desapareciendo explotaciones lecheras.

Lo central: costosa ausencia de autoridad gubernamental

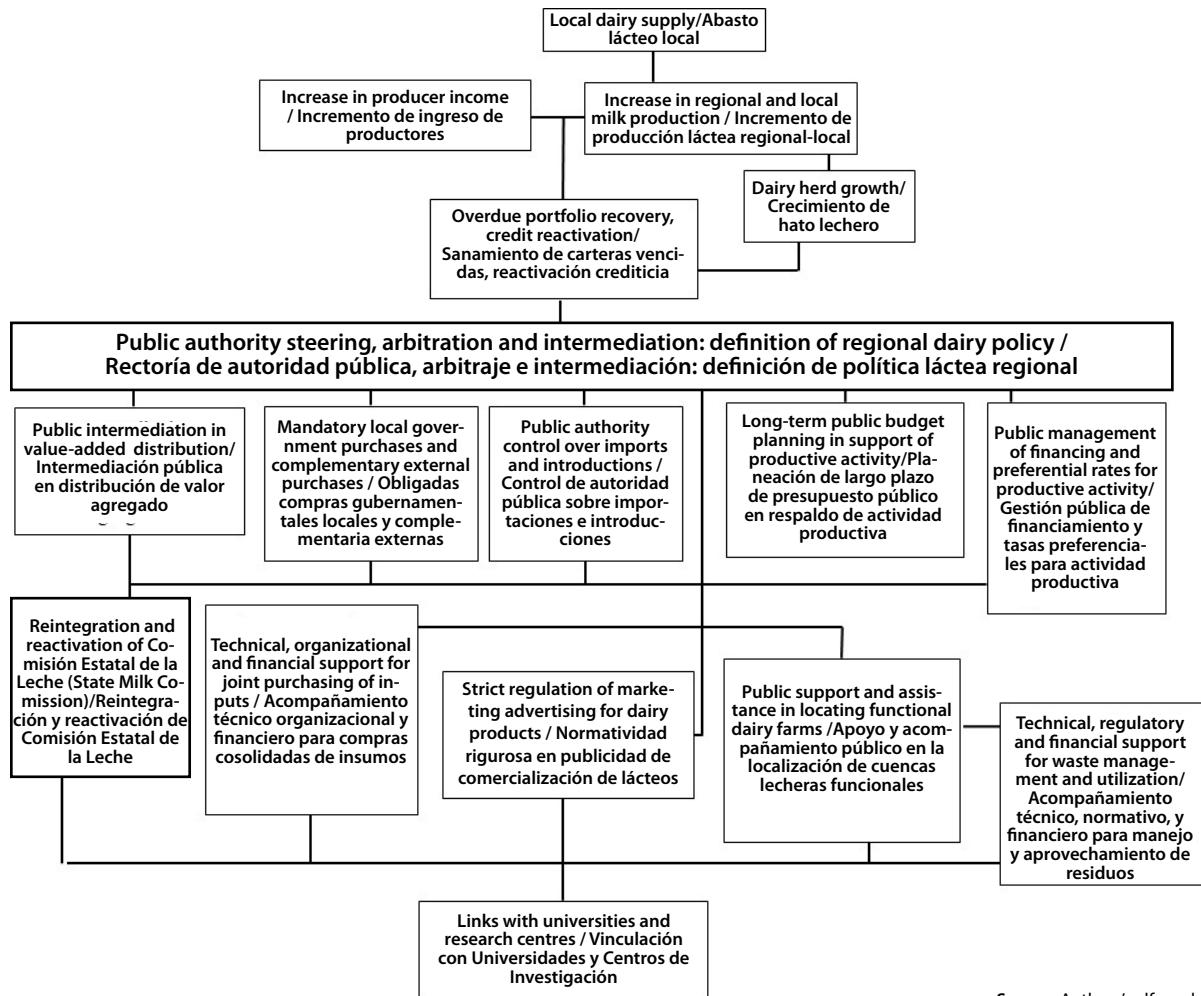
Desde la perspectiva de los productores (Comunicación personal, Barona, 17 de agosto de 2013; AG-PLT, 2013) el papel de la SEFOA ha sido omiso en actividades que requerían la obligada intervención normativa de la autoridad. No intervención o deficiente intervención de instancias de autoridad gubernamental en materia de planeación, generación y fuente de información, regulación de introducciones e importaciones, promoción de producción local y preferencia de compras locales de sector público; coordinación de áreas gubernamentales y órdenes de gobierno con criterios de efectividad y erradicación de duplicidades, arbitraje o intermediación entre representantes de los sectores de la cadena alimentaria, ha tenido efectos que han significado costos, sobre todo, para el segmento de productores. Ha dejado en manos de particulares decisiones que requieren el tutelaje de la autoridad pública, lo que se ha traducido en condiciones de grave desventaja para los ganaderos y de competencia desleal para industriales y empresas.

Sin planeación efectiva y con una asignación presupuestal errática y arbitraria, los ejercicios de planeación son solo el cumplimiento de un requisito administrativo-legal. Entre 2008 y 2012 se asignaron 84.8 millones de pesos (Cuadro 6) sin referencia alguna a plan o programa establecido.

La acentuada deficiencia de información oficial sobre este sector, y otros, puede constatar en las inestables y breves páginas web oficiales de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) del Gobierno Federal y la SEFOA. Esto genera dudas razonables sobre los inventarios de la Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Sustentable de Baja California (OEIDRUSBC).

En materia de regulación destaca lo relativo a las condicionantes para el ingreso al estado de productos lácteos, ya sea introducción de otros estados o importación de otros países, sobre todo, de EE. UU. Las mismas empresas tradicionales de la región, Jer-

Figure 4. Baja California dairy sector: means-ends tree
Figura 4. Sector lechero de Baja California: árbol de medios y fines



Source: Authors' self-made.
 Fuente: Elaboración propia.

producers denounced in 2013 (Personal communication, Rubio, August 17, 2013²; Personal communication, Barona, July 12, 2013) of “semi-skimmed milk packaged in Aguascalientes and containing vegetable fat” for the child nutrition programs of the Integral Family Development (Desarrollo Integral de la Familia DIF by its Spanish acronym), which is a state government area of social care and assistance programs.

Both local livestock farmers and dairy industrialists agree that the role of government agencies is seriously absent. Despite having attributions, their interventions and the resources applied to the sector

sey de Tijuana e Imperial de Mexicali que también participan notoriamente en esta dinámica, sostienen que el gobierno debiera regular más estrictamente el ingreso de los insumos para los derivados lácteos. El antecedente histórico es la creación en 1994 de la Comisión Estatal de la Leche (CELBC) en el seno del Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado (COPLADE), precisamente para “coadyuvar con todas las autoridades encargadas de la autorización, vigilancia y control de la producción, industrialización y comercialización de este producto y mejorar las condiciones necesarias que garanticen y optimicen la competitividad y calidad del mismo al público consumidor, así como la estabilidad de la planta productiva” (Gobierno del Estado de Baja California [GEBC], 1994, p.16). El decreto constitutivo precisa que su

²Arturo Rubio, producer of the Local Livestock Association of Milk Producers of Mexicali.

are severely insufficient for the purpose of development and strengthening. The design and implementation of favorable policies, coordination of government orders and departments are all unattended responsibilities.

Current conditions

Ten years after the research, the conditions of the dairy sector are not very different. According to recent statistics, between 2013 and 2023, the production of bovine milk ranked third in the value of national livestock production with 17%, after the production of beef (29%) and poultry (24%) (Cámara Nacional de Industriales de la Leche [Canilec by its Spanish acronym], 2024). However, during the same period, the production of fluid milk showed a downward trend: pasteurized milk decreased by 2.8 % and ultra-pasteurized milk by -1.3 %. Meanwhile, in the sector's 2023 trade balance, Mexico imported 3 252 million dollars of dairy products and exported only 849 million dollars, representing a trade deficit of 2 403 million dollars. It is worth noting that three quarters of these imports come from the USA, a country that mainly supplied skimmed milk powder and cheeses (Canilec, 2024).

Import-export relationship

According to the Monthly Scenario of Agri-Food Products bulletin from the Agri-Food and Fisheries Information Service (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP by its Spanish acronym), estimates of milk demand for Mexico in 2024 are for 17 511 million liters (MI), a figure that exceeds annual production, which is 13 594 MI, that is, a difference of 3 917 MI bill. The missing demand will be practically covered by importing 4 149 million liters, a strategy that has been applied in recent years. From representing 3 to 8% of national production in the 1980s, milk imports have come to represent up to 40% in the following decades (Robledo, 2018).

It is crucial to note that the trade liberalization resulting from the 1994 North American Free Trade Agreement, which established the terms for the liberalization of trade between Mexico, the United States and Canada, and which in the specific case of dairy products had a fifteen-year phase-out period, "has left the country's dairy sector in a crisis situation, since the

creación fue solicitud al gobernador del estado de los productores de leche e industriales. Veinte años después la evaluación de productores es la misma: una ausencia del papel de la autoridad a pesar de que la Ley de Desarrollo Agropecuario del Estado de Baja California, específicamente el Capítulo IX "De la entrada y salida de ganado, productos y subproductos en el estado" faculta al gobierno para regular las correspondientes guías de tránsito que emita la SE-FOA (GEBEC, 2010, p.106).

En apartados anteriores se han señalado cifras que muestran evidencia del ingreso al estado, sin rigor en el control, de volúmenes importantes de leche y derivados. Estos ingresos han sido realizados por empresas, pero también el gobierno de la entidad ha contribuido a generar condiciones que desalientan el comercio local priorizando el mercado externo; ejemplar fue el caso de la adquisición de "entre 8 y 10 mil litros diarios" que productores locales denunciaron en 2013 (Comunicación personal, Rubio, 17 de agosto de 2013²; Comunicación personal, Barona, 12 de julio de 2013) de "leche semidescremada envasada en Aguascalientes y que está compuesta con grasa vegetal" para los programas de alimentación infantil del Desarrollo Integral de la Familia (DIF), área del gobierno estatal de programas de atención y asistencia social.

Tanto ganaderos como industriales locales coinciden en calificar al papel de las instancias de gobierno como gravemente ausentes. A pesar de tener atribuciones sus intervenciones y los recursos aplicados al sector son severamente insuficientes para el propósito de desarrollo y fortalecimiento. El diseño, aplicación de políticas favorables, coordinación de órdenes y áreas gubernamentales son responsabilidades no atendidas.

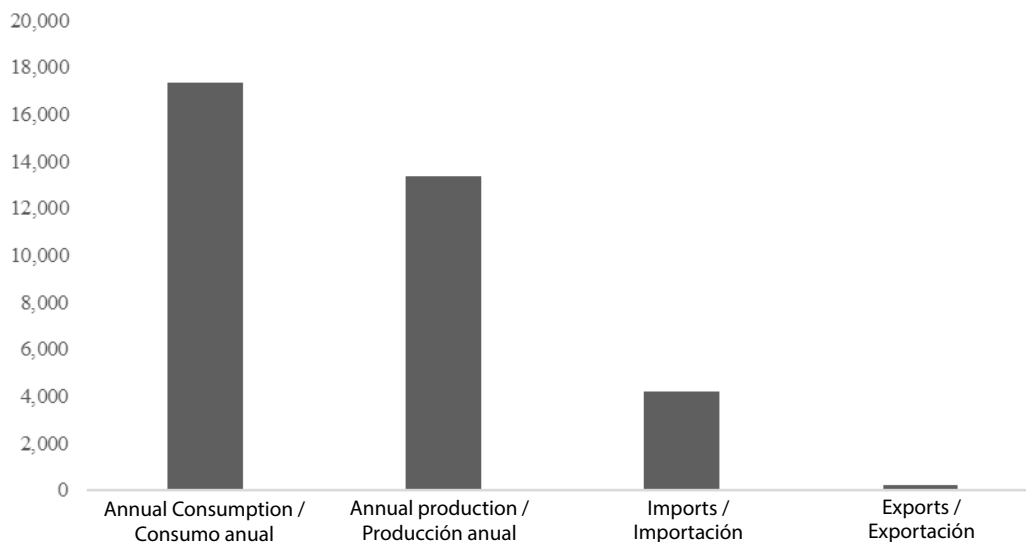
Las condiciones actuales

A diez años del trabajo de investigación las condiciones del sector lechero no son muy diferentes. De acuerdo con estadísticas recientes entre 2013 y 2023 la producción de leche de bovino ocupó el tercer lugar en el valor de producción pecuaria nacional con el 17 %, después de la producción de carne de bovi-

² Arturo Rubio, productor de la Asociación Ganadera Local de Productores de Leche de Mexicali.

Figure 5. Projected milk production-consumption in Mexico by 2024
Figura 5. Proyección de producción-consumo de leche en México para 2024

Milk production-consumption projection in Mexico by 2024 /
 Proyección de producción-consumo de leche en México para 2024



Source: Authors' self-made based on SIAP data (2023 and 2024).
 Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del SIAP (2023 y 2024).

entry of large dairy imports, linked to a limited competitiveness of producers, has driven a strong dairy deficit (between 35 and 40% of our dairy consumption), placing Mexico as the world's largest importer of skimmed milk powder" (Cervantes & Cesín, 2014). According to COMTRADE, a United Nations database, 100% of milk and cream imports come from the United States and Mexico's trade balance with that country exceeds 3 800 million dollars in 2023, "it is clear that Baja California milk producers cannot compete with their U.S. counterparts, that is why production has decreased and imports have increased, it is difficult for the Mexican State to regulate the milk market while the T-MEC is in place, which implies open borders and decreased regulations" (personal communication with an academic researcher, December 19 , 2024). Figure 5 shows the behavior of the relationship between consumption-production and import-export of dairy products in 2024.

Milk price speculation

Speculation in the purchase price of milk has caused companies to pay increasingly less per liter of this meal. In February 2024, fresh milk reached 10.50 pesos per liter; however, companies do not pay more than 8 or 9 pesos. According to Vicente Gómez Cobo,

no (29 %) y carne de ave (24 %) (Cámara Nacional de Industriales de la Leche [Canilec], 2024). Sin embargo, en el mismo lapso, la producción de leche fluida mostró una tendencia a la baja: la leche pasteurizada decreció -2.8 % y la ultrapasteurizada -1.3 %. Por su parte en la balanza comercial de 2023 del sector, México llegó a importar 3 252 mdd de productos lácteos para solo exportar 849 mdd, lo cual representó un déficit comercial por 2 403 mdd. Cabe destacar que tres cuartas partes de estas importaciones provienen de los EUA, país que proveyó mayormente leche descremada en polvo y quesos (Canilec, 2024).

Relación importación-exportación

De acuerdo con el boletín Escenario mensual de productos agroalimentarios del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), los cálculos en la demanda de leche para México en 2024 son por 17 511 millones de litros (MI), cifra que supera a la producción anual que es de 13 594 MI, esto es, una diferencia de 3 917 MI. La demanda faltante se cubrirá prácticamente con la importación de 4 149 MI, estrategia que se ha venido aplicando en los últimos años. De representar el 3 u 8 % de la producción nacional en los años ochenta, las importaciones de leche han

Table 7. Milk: price paid per liter (in pesos)
Cuadro 7. Leche: precio pagado por litro (en pesos)

	2022	2023	2024
Mexico	\$8.01	\$8.52*	\$8.70**
USA	\$8.23	\$8.24	\$8.19

* September 2023.

** December 2023.

Source: Agri-Food and Fisheries Information Service (SIAP, 2023 and 2024).
Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2023 y 2024).

Table 8. Baja California: support by municipality for dairy cattle (millions of pesos)
Cuadro 8. Baja California: apoyos por municipio para ganado lechero (millones de pesos).

Municipality	2017	2018	2020	2022	2023
Ensenada	0.6	1.13	0.0	0.07	0.09
Mexicali	0.4	0.6	0.2	0.1	0.2
Rosarito	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tecate	0.07	0.0	0.2	0.03	0.06
Tijuana	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0
BC Total	1.14	1.9	0.8	0.2	0.4

Source: SADER (2024). / Fuente: SADER (2024).

president of the Mexican Dairy Federation (Femelleche by its Spanish acronym), producers suffer unusual speculation in product prices, which in one week could cause prices to drop between 14 and 23% (Hernández, 2024). This phenomenon, Gómez Cobo states, generates the destruction of production units because the price to the final consumer does not vary, especially at a time where there is talk of food self-sufficiency. It is worth noting that since 2022, producers have been asking for more than 10 pesos per liter (Aragón, 2022). Table 7 shows the stagnation of prices in both the US and Mexico.

In terms of support provided, a pronounced decrease is shown with respect to the previous period (Table 8). Between 2017 and 2023, there was a more than 90 % plunge in the subsidy.

Conclusions

The conclusive effort of this research, in principle the problem of the low productivity on the side of cattle farmers and the consequent need to increase it, above all, in the area of feed. In this area, they have been totally dependent and vulnerable to serious upward fluctuations in prices, which has caused practically half of the producers to withdraw from the activity;

llegado a representar hasta el 40 % en las siguientes décadas (Robledo, 2018).

Es crucial señalar que la apertura comercial que significa la vigencia, desde 1994, del Acuerdo Comercial de Libre Comercio de América Norte, que estableció los términos de la liberación del comercio entre México, EE. UU. y Canadá, y que en el caso específico de los lácteos tuvo un periodo de desgravación de quince años, "han dejado al sector lechero del país en una situación de crisis, pues la entrada de grandes importaciones de lácteos, ligada a una limitada competitividad de los productores ha impulsado un fuerte déficit lechero (entre 35 y 40 % de nuestro consumo de lácteos), colocando a México como el mayor importador mundial de leche descremada en polvo" (Cervantes & Cesín, 2014). De acuerdo con la COMTRADE, base de datos de la Organización de las Naciones Unidas, el 100 % de las importaciones de leche y crema provienen de Estados Unidos y la balanza comercial de México con ese país sobrepasa los 3 800 millones de dólares en 2023, "es claro que los productores de leche de Baja California no pueden competir con sus contrapartes de EE. UU., por eso ha disminuido la producción y aumentado la importación, es difícil que el Estado mexicano pueda regular

the high productive yields do not imply profitability. The solution does not lie in the industry raising the price, although that is the practical demand of producers and industrialists, the area of opportunity is related to the feeding model, around fodder and its efficient use, backward integration or strategic alliances with fodder suppliers is an immediate need.

The widely documented national (Rodríguez et al., 2014) and state food dependence, in this text, implies imports that exceed half of the national consumption of basic grains and oilseeds. In this maels-trom of purchase, dairy derivatives stand out, which have come to be a serious unfair competition for national dairy producers, occupy authentic dairy market depressing the price and competing deceitfully; here arises the imperative need to develop effective strategies of diverse scope so that the dairy activity, local, (especially in coastal municipalities), recovers competitiveness to fulfill its high social responsibility of supplying the population with this basic food. In this regard there are a couple of actions that stand out: the premise of immediately increasing the real income of dairy producers and the massive relocation of the Tijuana area's dairy farm. It involves the design and evaluation of investment projects, the use of alternative energy sources, efficient water use, environmental controls (excreta management), business consolidation and vertical and horizontal integration. The low production and the cost of electricity discourage the proposal; however, the cost of 300 pesos per ton to transport alfalfa from Mexicali to Tijuana implies an expense of 40 million pesos per year; it is necessary to rethink the criteria for relocating dairy farms to process the dilemma of "near the point of sale or near the inputs," when one or the other is distant.

It is also essential to note that producers, both technified and backyard, do not correctly recognize the value added by capacity development schemes, however, the process of technology adoption in the different processes of the activity and its continuous updating, is the determining reference for increasing and sustaining productive efficiency and consequently profitability. Therefore, the linkage between producers, universities, research centers, and professional service providers is an imperative subject.

el mercado de la leche mientras esté el T-MEC, que implica fronteras abiertas y disminución de regulaciones" (comunicación personal con académico investigador, diciembre 19, 2024). La Figura 5 muestra el comportamiento de la relación entre consumo-producción e importación-exportación del lácteo en 2024.

Especulación en el precio de la leche

La especulación en el precio de compra de la leche ha provocado que las empresas paguen cada vez menos por el litro de este alimento. En febrero de 2024 la leche fresca se había ubicado en 10.50 pesos por litro, sin embargo, las empresas no lo pagan por arriba de los 8 o 9 pesos. Según afirma el presidente de la Federación Mexicana de Lechería (Femeleche), Vicente Gómez Cobo, los productores padecen una inusual especulación en los precios del producto que en una semana pudo causar la caída de los precios entre el 14 y 23 % (Hernández, 2024). Este fenómeno, afirma Gómez Cobo, genera la destrucción de unidades de producción debido a que el precio al consumidor final no varía, especialmente en un momento que se habla de autosuficiencia alimentaria. Cabe destacar que desde 2022 los productores solicitaban arriba de los 10 pesos por litro (Aragón, 2022). El Cuadro 7 muestra el estancamiento de los precios tanto en EU como en México.

En cuanto a los apoyos otorgados, se muestra una pronunciada disminución respecto al periodo anterior (Cuadro 8). Entre 2017 y 2023 se produjo un desplome de más del 90 % en el subsidio.

Conclusiones

El esfuerzo conclusivo de esta investigación, en principio el problema de la baja eficiencia productiva por parte de los ganaderos, y la consecuente necesidad de incrementarla, sobre todo, en el ámbito de la alimentación. En esta materia han sido totalmente dependientes y vulnerables a las graves fluctuaciones al alza de sus precios, ello ha provocado que prácticamente la mitad de los productores se hayan retirado de la actividad, los altos rendimientos productivos no implican rentabilidad. La solución no está en que la industria suba el precio, aunque esa es la demanda práctica de productores e industriales, el ámbito de oportunidad es en lo relativo al modelo alimenticio, alrededor de los forrajes y su uso eficiente, la

Regardless of the production strategies that producers carry out at the individual level to improve their profitability, it is essential that the government, at all three levels, clearly define public policies: responsibilities, detailed plans, specific programs, rigorously enforceable regulations, and budget allocations, aimed at the sector with the intention of minimizing uncertainty and supporting the development of local dairy farming and its practitioners.

End of English version

References / Referencias

- Alaminos A. F., & Castejón, J. L. (2006). Elaboración, análisis e interpretación de encuestas, cuestionarios y escalas de opinión [Archivo PDF] https://www.researchgate.net/publication/267711357_Elaboracion_analisis_e_interpretacion_de_encuestas_cuestionarios_y_escalas_de_opinion?enrichId=rgreq-4af9902f68655dc6b1b044ef7e3ad5de-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzI2Nz-cxMTM1NztBUzoxNjYyNzYxMzk4NTU4NzJAMTQxNjY1NDcyOTA4Mg%3D%3D&el=1_x_2&esc=publicationCoverPdf
- Alimentos y Productos para Ganado Lechero S.A. de C.V. (APGL). (2013).
- Aragón, J. (junio 20, 2022). Por insumos caros sacrifican ganado en BC. Reportajes Semanario Zeta. <https://zetatijuana.com/2022/06/por-insumos-caros-sacrifican-ganado-en-bc/#:~:text=Al%20cierre%20de%20edici%C3%B3n%20de%20jueves,al%20de%20enero%20de%202021>
- Cámara Nacional de Industriales de la Leche [Canilec]. (Abril 22, 2024). Compendio de Estadísticas del Sector Lácteo 2013-2023. <https://www.canilec.org.mx/estadisticas/>
- Cavallotti Vázquez, B. A., Ramírez Valverde, B., Cesín Vargas, A., & Ramírez Juárez, J. (coordinadores). (2014). La ganadería mexicana a 20 años del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Cervantes Escoto, F., Camacho Vera, J. H., & Cesín Vargas, A. (2014). El sistema lácteo mexicano después

integración hacia atrás o las alianzas estratégicas con proveedores de forraje es una necesidad inmediata. La ampliamente documentada dependencia alimentaria nacional (Rodríguez et al., 2014) y estatal, en este texto, implica importaciones que rebasan la mitad del consumo nacional de granos básicos y oleaginosas. En esta vorágine de compra destacan los derivados lácteos que han venido a ser una grave competencia desleal para los productores de leche nacionales, ocupan mercado de lácteos auténticos deprimiendo el precio y compitiendo engañosamente; aquí surge la imperante necesidad de elaborar efectivas estrategias de diverso alcance para que la actividad lechera, local, (especialmente en los municipios de la zona costa), recupere competitividad para cumplir con la alta responsabilidad social de abastecer a la población de este alimento básico. En esta dirección hay un par de acciones que sobresalen: la premisa de elevar en lo inmediato el ingreso real de los productores lecheros y la ingente reubicación de la cuenca lechera de la zona de Tijuana. Implica diseño y evaluación de proyectos de inversión, uso de energías alternativas, uso eficiente del agua, controles ambientales (manejo de excretas), consolidación empresarial e integración vertical y horizontal. La baja de producción y el costo de energía eléctrica desalientan la viabilidad de la propuesta, sin embargo, el costo de 300 pesos por tonelada para trasladar alfalfa de Mexicali a Tijuana implica un gasto de 40 millones de pesos anuales; se necesita repensar los criterios de relocalización de explotaciones lecheras para procesar la disyuntiva de "cerca del punto de venta o cerca de los insumos", cuando uno u otro son distantes.

También es imprescindible apuntar que los productores, tecnificados y de traspatio, no reconocen correctamente el valor que agregan los esquemas de desarrollo de capacidades, sin embargo, el proceso de adopción de tecnología en los diversos procesos de la actividad y su continua actualización, es la referencia determinante para elevar y sostener la eficiencia productiva y en consecuencia la rentabilidad. De ahí que la vinculación entre productores, universidades, centros de investigación, prestadores de servicios profesionales, sea una asignatura imperativa. Independientemente de las estrategias productivas que en el ámbito particular los productores deben

- del TLCAN [Archivo PDF]. https://www.researchgate.net/publication/275019913_El_sistema_lacteo_mexicano_despues_del_TLCAN
- Comité de Planeación del Desarrollo del Estado (COPLADE) (2013). Población de los municipios de Baja California 2013-2030. [Archivo PDF]. https://www.academia.edu/22495837/Poblaci%C3%B3n_de_los_Municipios_de_Baja_California_2013_2030_Apuntes_de_Poblaci%C3%B3n_de_Baja_California
- Gobierno del Estado de Baja California (2010). Capítulo IX. De la entrada y salida del ganado, productos y subproductos en el Estado (Octubre 8, 2010). Periódico Oficial del Estado de Baja California. <https://wsxtbc.ebajacalifornia.gob.mx/CdnBc/api/Imagenes/ObtenerImagenDeSistema?sistemaSolicitante=PeriodicoOficial/2010/Octubre&nombreArchivo=Periodico-43-CXVII-2010108-SECCI%C3%93N%20I.pdf&descargar=false>
- Gobierno del Estado de Baja California [GEBC] (1994). Se crea la Comisión Estatal de la Leche (enero 28, 1994). Periódico Oficial del Estado de Baja California. <https://wsxtbc.ebajacalifornia.gob.mx/CdnBc/api/Imagenes/ObtenerImagenDeSistema?sistemaSolicitante=PeriodicoOficial/1994/Enero&nombreArchivo=Periodico-4-CI-1994128-INDICE.pdf&descargar=false>
- Guerrero J., Peterson N., Plascencia A., & González R. (1991). U.S.-Mexico production costs compared at present livestock production more favorable in Imperial Valley. California Agriculture.
- Hernández, E. (Febrero 22, 2024). Inusual especulación tira hasta dos pesos el precio de litro de la leche, denuncian productores. Sección Negocios Revista Forbes México. <https://www.forbes.com.mx/inusual-especulacion-tira-hasta-2-pesos-el-precio-del-litro-de-la-leche-denuncian-productores/> <https://www.nacionmulticultural.unam.mx/empresasindigenas/docs/1934.pdf>
- Información sobre el sector lechero (LactoData). (2014). <http://www.lactodata.com/lactodata/index.php>
- Martínez, J. A. (2014). Elementos para la generación de propuestas de políticas públicas para la conformación del Plan Estatal de Ganadería Lechera de Baja California [Archivo PDF].
- Mexicano (Diciembre 30, 2011). El aumento a la leche fue el costo menor. Portal el Mexicano. <http://www.elmexicano.com.mx/informacion/noticias/1/3/estatal/2011/12/30/532772/aumento-a-la-leche-fue-el-costo-menor.aspx>
- llevar a cabo para mejorar su rentabilidad, es imprescindible que el gobierno, en su tres órdenes, defina con claridad las políticas públicas: atribuciones, planes detallados, programas específicos, normatividad aplicable con rigurosidad, asignaciones presupuestales, dirigidas al sector con la intención de minimizar la incertidumbre y respaldar el desarrollo de la actividad lechera local y de quienes la llevan a cabo.
- Fin de la versión en español*
-
- Notimex (Marzo 2, 2014). Importación de leche genera impactos negativos. Revista Hora Cero. <https://horacero.com.mx/nacional/importacion-de-leche-genera-impactos-negativos/>
- Ortegón, E., Pacheco, J. F., & Roura, H. (2005). Metodología general de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública. CEPAL, Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES) Área de Proyectos y programación de inversiones. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/5608-metodologia-general-identificacion-preparacion-evaluacion-proyectos-inversion>
- Portal de información rural (InfoRural) (2011). <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article81781>
- Portal Lechero. (Portal) (2014). http://www.portalechero.com/innovaportal/v/4959/1/innova.front/mexico:_formulas_lacteas_se_venden_como_leche.html
- Robledo, R. (2018). Producción de leche en México y el impacto de las importaciones de leche en polvo, en Zamora Gasca, J., Sánchez Almanza, A., Del Carmen, A., & Amparo, D. (coordinadores). Volumen I. Perspectivas teóricas, globalización e intervenciones públicas para el desarrollo regional. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A. C, Coeditores, México, 206-224. https://ru.iiec.unam.mx/4223/1/2-VolI_Parte2_Eje2_Cap2-192-Robledo.pdf
- Rodríguez Licea, G., Hernández Martínez, J., & Borja Bravo, M. (2014). Efectos del TLCAN sobre

- el mercado de granos de consumo pecuario y la producción de alimentos, en Cavallotti Vázquez, B. A., Ramírez Valverde, B., Cesín Vargas, A., y Ramírez Juárez, J. (coordinadores). La ganadería mexicana a 20 años del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. Universidad Autónoma de Chapingo, 247-265.
- Roldán, B. D. (2013). La autosuficiencia lechera en México es posible: un análisis de información confiable sobre la ganadería y la industria lechera, para demostrar la conveniencia y posibilidad de asegurar la autosuficiencia del país en la producción de leche: una propuesta para enfrentar y superar el reto de la alimentación en el siglo XXI. Ganaderos Productores de Leche Pura, México.
- Secretaría de Economía (SE) (2012). Análisis del Sector Lácteo en México. http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/analisis_sector_lacteo.pdf.
- Secretaría de Fomento Agropecuario (SEFOA) (2011). Panorama general de la producción lechera en Baja California. [Archivo PDF].
- Secretaría de Fomento Agropecuario (SEFOA). (2013). Presupuesto anualizado, años 2008-2012. Gobierno de Estado de Baja California.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2024). Presupuesto anualizado, años 2017-2023. Gobierno de Estado de Baja California.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] (2023). Escenario mensual de productos agroalimentarios. Dirección de Análisis Estratégico. SADER. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/870869/Leche_de_bovino_Octubre.pdf
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] (2024). Escenario mensual de productos agroalimentarios. Dirección de Análisis Estratégico. SADER. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/892965/Leche_de_bovino_Enero.pdf
- Sistema de Información de Costos, Eficiencias y Competitividad de la Ganadería Nacional (SICEC). (2014). Resultados para bovinos de leche. Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia. UNAM. <http://www.sicec.unam.mx/index.php/portal/resultadosbovinos>
- Universidad de León (UNILEON). (2014). Facultad de Veterinaria. España. <https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=39&ved=0CGsQFjAIOB4&url=http%3A%2F%2Fwww3.unileon.es%2Fce%2Fve%2FTITULACIONES%2FVETERINARIA%2Fmaterialdidactico%2Flechedevaca.xls&ei=RC5UU6DmKoKryAT274CYDg&usq=AFQjCNEI7TGxYb104UQ9Wluy6Twdb0M3lw&sig2=sp8ootLPCnJV190YLpYG4w>.
- Villareal González, J. R., Aguilar Valdés, A., & Luévano González, A. (1998). El Impacto Socioeconómico de la Ganadería Lechera en la Región Lagunera. Revista Mexicana de Agronegocios, vol. III, núm. 3. <https://www.redalyc.org/pdf/141/14100306.pdf>



Factors involved in the adoption of silvopastoral systems in the state of Yucatán, México

Anahy Guadalupe Romero Mena¹

Wilian de Jesús Aguilar Cordero^{2*}

Javier Solorio Sánchez³

Luis Ramírez Avilés³

Abstract

For decades, extensive livestock farming has been characterized by its low productivity and significant environmental impact. For this reason, several research institutions, as well as non-governmental organizations and government agencies, have proposed strategies to promote and develop more efficient and sustainable livestock systems. Therefore, silvopastoral systems (SSP by its Spanish acronym) are proposed as an agricultural technology that can increase livestock efficiency and mitigate its environmental impact. The objective of this study was to analyze the technological, socioeconomic, and cultural factors that influence the adoption of silvopastoral systems. The study was carried out in the state of Yucatán, through surveys conducted with two groups of livestock farmers. The first group had prior knowledge of SSP, and the second one had only practiced conventional livestock farming. The results show that the main factor impeding the adoption of SSP is economic, followed by technical ones. The first factor is related to the lack of timely financial resources and credits, while the technical factor refers to lack of disclosure of information and waiting time for use of the SSP after establishment. It is concluded that SSPs have low adoption and implementation mainly due to the lack of financial resources and limited technical assistance to livestock farmers allowing them to learn more about the benefits of these systems.

Keywords: livestock, innovation, leucaena, sustainability, technology.

Factores que intervienen en la adopción de los sistemas silvopastoriles en el estado de Yucatán, México

Resumen

Desde hace décadas la ganadería extensiva se caracteriza por su baja productividad, y un gran impacto ambiental. Por lo que diversas instituciones de investigación, así como organizaciones no-gubernamentales y dependencias de gobierno plantean estrategias para promover y desarrollar sistemas ganaderos más eficientes y sostenibles. Por ello, se proponen los sistemas silvopastoriles (SSP) como una tecnología agropecuaria que puede incrementar la eficiencia ganadera y mitigar el impacto ambiental de la misma. El objetivo de este trabajo fue analizar los factores tecnológicos, socioeconómicos y culturales que influyen en la adopción de los sistemas silvopastoriles. El trabajo se realizó en el estado de Yucatán, mediante la aplicación de encuestas a dos grupos de ganaderos. El primer grupo con previo conocimiento de los SSP, y el segundo solo con práctica de ganadería convencional. Los resultados muestran que el factor principal que impide la adopción de los SSP es el económico, seguido del factor técnico. El primer factor está relacionado con la falta de recursos económicos y créditos oportunos, mientras que el factor técnico se refiere a la falta de divulgación de información y el tiempo en la espera para el uso del SSP después del establecimiento. Se concluye que, los SSP tienen una baja adopción e implementación debido principalmente a la falta de recursos económicos y la limitada asistencia técnica hacia los ganaderos que les permita conocer más sobre los beneficios de estos sistemas.

Palabras clave: ganadería, innovación, leucaena, sustentable, tecnología

¹Instituto de Desarrollo Regional y Municipal, C. 16 x 15, Chocholá, México.

²Universidad Autónoma de Yucatán, Departamento de Botánica del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, km 15.5 Carretera Mérida-Xmatkuil, Mérida, Yucatán. México.

³Universidad Autónoma de Yucatán, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, 4-116 Itzimná, Mérida, Yucatán, México.

*Corresponding author: acordero@correo.uady.mx, Tel: 9999423205, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2579-2684>

Introduction

In Mexico, livestock farming is a widespread practice, particularly in the state of Yucatan, since it is of great economic importance. Livestock farming practiced in this region of the country is primarily extensive, which requires less investment and less labor (Martínez et al., 2002; Ramírez & Rivera, 2004; Cancino et al., 2016). However, for decades, this kind of livestock farming has been characterized by its low productivity and profitability, due to fluctuations in the availability and quality of pastures, (Vásquez Velásquez et al., 2020). Conventional extensive livestock farming has low productivity in terms of livestock products per unit area. In addition, it has low added value and significant negative impact on ecosystems and greenhouse gas emission (Lara Pulido et al., 2022). These adverse effects of extensive livestock farming are obvious in the state of Yucatan, where the land is designated towards biodiverse systems. Despite the challenges it faces in terms of productivity and environmental sustainability, it is still of importance in livestock farming in Yucatan.

In view of this situation, different organizations, research institutions and federal agencies have focused their efforts on looking for strategies to help livestock farmers to have profitable systems with less impact on natural resources. One of these systems is silvopastoral (SSP), which is characterized by its great biodiversity in different strata, i.e., it includes herbaceous species (grasses and legumes) in the first stratum, forage shrubs in the second, and trees (forage, fruit or forest) in the third one. This configuration of species in different strata leads to greater productivity as well as a mitigation of greenhouse gas emissions. Silvopastoral systems (SSP) are part of agricultural technologies aimed at increasing the efficiency of livestock and agricultural activities.

The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and the World Bank propose silvopastoral systems (SSP), as one of the new technologies with positive impact on the livestock sector and a sustainable animal production model. Several studies have shown that conversion of traditional pastures into SSP is a highly productive option (Broom et al., 2013; Rivera-Herrera et al., 2017). However, significant limitations have arisen in implementing and adopting these systems in the tropi-

Introducción

En México, la ganadería es una práctica generalizada, y en particular para el estado de Yucatán, ya que esta es de gran importancia económica. La ganadería que se practica en esta región del país es principalmente extensiva, la cual implica una menor inversión y menor trabajo (Martínez et al., 2002; Ramírez & Rivera, 2004; Cancino et al., 2016). Sin embargo, desde hace décadas, este tipo de ganadería se caracteriza por su baja productividad y rentabilidad, debido a la fluctuación en la disponibilidad y calidad de las pasturas (Vásquez Velásquez et al., 2020). La ganadería extensiva convencional tiene una baja productividad en términos de productos pecuarios por unidad de superficie. Además, tiene un bajo valor agregado y un impacto negativo significativo en los ecosistemas y en las emisiones de gases de efecto invernadero (Lara Pulido et al., 2022). Estos efectos adversos de la ganadería extensiva son evidentes en el estado de Yucatán, en donde la vocación de la tierra es hacia sistemas biodiversos. A pesar de los desafíos que enfrenta en términos de productividad y sostenibilidad ambiental, aún sigue siendo de importancia en la ganadería en Yucatán.

Ante esta situación, diferentes organizaciones, instituciones de investigación y dependencias federales han focalizado esfuerzos en buscar estrategias que ayuden a los ganaderos a tener sistemas rentables y con menor impacto en los recursos naturales. Uno de estos sistemas es el silvopastoral (SSP), el cual se caracteriza por su gran biodiversidad en diferentes estratos, es decir, incluye especies herbáceas (gramíneas y leguminosas) en el primer estrato, arbustivas forrajeras en el segundo estrato, arbóreas (forrajeras, frutales o forestales) en el tercer estrato. Esta configuración de especies en diferentes estratos propicia una mayor productividad y así como una mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Los sistemas silvopastoriles (SSP) son parte de las tecnologías agropecuarias, cuyo objetivo es incrementar la eficiencia de las actividades ganaderas y agrícolas.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) y el Banco Mundial proponen a los SSP (sistemas silvopastoriles), como una de las nuevas tecnologías con impacto positivo en el sector ganadero y un modelo de producción animal sustentable. Diversas investigaciones han demostrado que la reconversión de pasturas tradicionales en SSP es

cal regions, such as lack of technical support, limited knowledge of SSPs among livestock farmers and a long period of tree-planting and subsequent use (Lee et al., 2020). In addition, delays in establishing a SSP affect the farm economy through slow growth and subsequent use of trees or shrubs. In addition, the cost increases due to the purchase or production of a plant nursery, in addition to which a greater demand for labor is required for planting tasks and its maintenance (Ibrahim et al., 2001; Mahecha, 2003; Suárez, 2006; Ramírez et al., 2019).

Given the above context, this research aims to analyze the technological, socio-economic and cultural variables that influence the adoption of silvopastoral systems by livestock farmers in the state of Yucatan.

Materials and Methods

Study area

The livestock farmers working with the SSP are located in 19 municipalities: Baca, Cansahcab, Cantamayec, Dzán, Dzidzantún, Dzilam González, Izamal, Maxcanú, Mérida, Mocochoá, Oxkutzcab, Panabá, Sucilá, Tekax, Ticul, Timucuy, Tizimín, Tzucacab and Yobaín municipalities belonging to the state of Yucatan, located in the southeast of Mexico, with a subtropical and tropical climate and an average annual temperature of 26 to 35 °C.

Data collection and methods

The study universe was obtained from the 19 municipalities where the 45 livestock farmers who participated in the implementation of SSP's in the period from 2011 to 2012, promoted by the Fundación Produce Michoacán (FPM) and the Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), which represented the first group, and the 30 livestock farmers who were not on the SSP establishment program, but who are in the study area, were registered. However, due to contingency issues due to COVID-19, it was difficult to involve all those selected in the list of 45. Based on non-probability convenience sampling (Ilker et al., 2015; Otzen & Manterola, 2017), 18 livestock farmers were selected to answer the survey, and from the second group which was initially 30 livestock farmers, 18 remained, with a total of 36 who participated in the study.

una opción altamente productiva (Broom et al., 2013; Rivera-Herrera et al., 2017). Sin embargo, para implementar y adoptar estos sistemas en las regiones tropicales, se han presentado limitaciones importantes, como la escasez de apoyo técnico, poco conocimiento de los ganaderos en los SSP's y tiempo prolongado del establecimiento de los árboles y su posterior uso (Lee et al., 2020). Asimismo, la demora en el establecimiento de un SSP afecta la economía del predio por la lentitud en el crecimiento y posterior utilización de los árboles o arbustos. Además, se incrementa el costo, pues se incurre en la compra o producción de una planta en vivero, aunado a ello se requiere una mayor demanda de mano de obra para las labores de plantación, y su mantenimiento (Ibrahim et al., 2001; Mahecha, 2003; Suárez, 2006; Ramírez et al., 2019).

Ante el contexto antes señalado, la presente investigación tiene el objetivo de analizar las variables tecnológicas, socioeconómicas y culturales que influyen en la adopción de los sistemas silvopastoriles por parte de los ganaderos del estado de Yucatán.

Materiales y Métodos

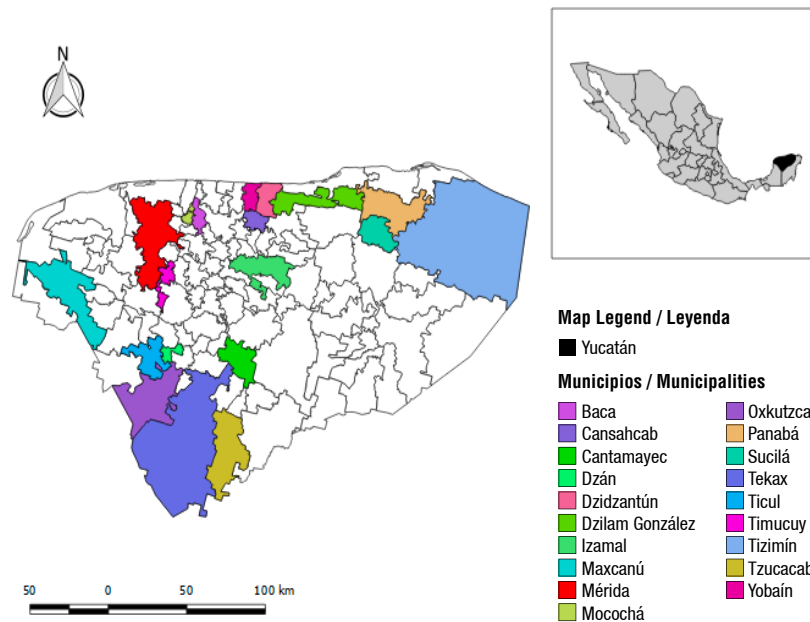
Área de estudio

Los ganaderos que trabajan con los SSP se encuentran ubicados en 19 municipios: Baca, Cansahcab, Cantamayec, Dzán, Dzidzantún, Dzilam González, Izamal, Maxcanú, Mérida, Mocochoá, Oxkutzcab, Panabá, Sucilá, Tekax, Ticul, Timucuy, Tizimín, Tzucacab y Yobaín municipios pertenecientes al estado de Yucatán, que se encuentran ubicados en el sureste de México, con clima subtropical a tropical y una temperatura media anual de 26 a 35 °C.

Obtención de la muestra del estudio

El universo de estudio se obtuvo de los 19 municipios donde estaban registrados los 45 ganaderos que participaron en la implementación de SSP's en el período de 2011 a 2012, promovida por la Fundación Produce Michoacán (FPM) y la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), que representaron el primer grupo, y los 30 ganaderos que no estaban en la lista del programa de establecimiento de los SSP, pero que están en la zona de estudio. Sin embargo, por cuestiones de la contingencia por el COVID-19 se dificultó involucrar a todos los seleccionados en la

Figure 1. Map of the state of Yucatan showing the municipalities in the study area.
Figura 1. Mapa del estado de Yucatán mostrando los municipios del área de estudio



Fuente: Elaboración propia, (INEGI 2018)

Source: Authors'self-made, based on (INEGI 2018) data

Design and implementation of questionnaires

For data collection, the survey method was used, applying a measurement instrument consisting of a mixed questionnaire (Feria et al., 2020; Ajay et al., 2024) with open and closed questions which was applied during the months of November to December 2020; and from January to March 2021.

The number of questions for the groups varied, with three questions removed from the questionnaire in the first group because they were more focused on the implementation of silvopastoral systems as the first group had the opportunity to do so. The surveys for the first group consisted of 21 questions, divided into four sections: 1. General information; 2. Knowledge and importance of SSPs; 3. Interest in learning about and participating in SSPs; and 4. Reasons for adopting or not adopting SSPs. The surveys in the second group were modified and consisted of 18 questions, divided into four sections (the same as for group 1).

To strengthen the research, a semi-structured interview guide was designed and applied to three key informants, selected according to the following

lista de 45, por lo que, apoyándose en el muestreo no probabilístico por conveniencia (Ilker et al., 2015; Otzen & Manterola, 2017) se seleccionaron a 18 ganaderos que respondieron la encuesta, y del segundo grupo que inicialmente era de 30 ganaderos, quedaron 18, siendo un total de 36 que participaron en el estudio.

Diseño y aplicación de cuestionarios

Para la recolección de datos se usó el método de la encuesta, aplicando un instrumento de medición que consistió en un cuestionario mixto (Feria et al., 2020; Ajay et al., 2024) con preguntas abiertas y cerradas que fue aplicado durante los meses de noviembre y diciembre de 2020; y de enero a marzo de 2021.

El número de preguntas para los grupos varió, ya que se eliminaron tres preguntas del cuestionario del primer grupo porque iban más dirigidas a la implementación de los sistemas silvopastoriles, debido a que el primer grupo tuvo la oportunidad de hacerlo. Las encuestas para el primer grupo constaron de 21 preguntas, dividido en cuatro apartados, I. Datos generales, II. Conocimiento e importancia en los

criteria: 1) livestock farmers who were open to dialogue, and 2) those with experience of implementing SSPs. It is noteworthy that two of the livestock farmers have a silvopastoral system in operation; the third one implemented it but abandoned it. The interview guide for the livestock farmers consisted of 17 questions that strengthened the knowledge obtained through the survey on the adoption and implementation of silvopastoral systems.

The information obtained from the survey was analyzed in a Microsoft Office Excel 2010 database. The answers to the open-ended questions were assigned a numerical value, for subsequent analysis through descriptive statistics by means of graphs to identify and analyze the factors involved in the adoption of silvopastoral systems. The semi-structured interviews were recorded and then transcribed. They were classified and ranked for analysis and incorporation into research results.

Results

Survey. Due to the COVID-19 contingency and its implications, only 18 of the 45 livestock farmers who participated in the implementation of SSPs, promoted by the Fundación Produce Michoacán (FPM) and the Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), answered the survey, while the second group of 30 farmers, also 18 answered. Thus 18 livestock farmers for group 1 and 18 for group 2 participated in this work.

General information. The 100% of livestock farmers who answered the surveys were male, aged between 34 and 73, without schooling 22.2%, elementary 5.5%, middle school 5.5%, high school 16.6%, college 39% and master's degree 11.1%. As for the second group, 94.4% are male livestock farmers, ranging in age from 27 to 54 years old, with 44.4% college education, another 44.4% high school and only 11.1% middle school (Figure 2).

Knowledge and importance of silvopastoral systems. The results for group 1 indicated that 100% of the livestock farmers, whether or not they have implemented the SSPs, they know about them, now only 78% still have the system, the other 22.2% stopped using it. 66.6% of livestock farmers indicate that the main benefit of silvopastoral systems is the improvement in the quality of livestock feed due to

SSP's, III. Interés por conocer y participar en los SSP's, IV. Razones para adoptar o no los SSP's. Las encuestas para el segundo grupo tuvieron una modificación, constaron de 18 preguntas, dividido en cuatro apartados (mismos apartados que para el grupo 1).

Para fortalecer la investigación se diseñó una guía de entrevista semiestructurada que se aplicó a tres informantes clave, seleccionados de acuerdo con los siguientes criterios, 1) ganaderos que estuvieran abiertos al diálogo y 2) que contaran con la experiencia de haber implementado los SSP. Es de señalar que dos de los ganaderos cuentan con el sistema silvopastoral y está en funcionamiento, el tercero lo implementó, pero lo abandonó. La guía de entrevista a los ganaderos constó de 17 preguntas que permitieron fortalecer el conocimiento obtenido a través de la encuesta sobre la adopción e implementación de los sistemas silvopastoriles.

La información obtenida en las encuestas se capturó en una base de datos de Microsoft Office Excel 2010. Las respuestas de las preguntas abiertas se le asignó un valor numérico, para su posterior análisis a través de la estadística descriptiva mediante gráficas para identificar y analizar los factores que intervienen en la adopción de los sistemas silvopastoriles. Las entrevistas semiestructuradas se grabaron y posteriormente transcritas, se clasificaron y jerarquizaron para su análisis e incorporación a los resultados de la investigación.

Resultados

Encuesta. Por cuestiones de la contingencia por el COVID-19 y sus implicaciones, de los 45 ganaderos que participaron en la implementación de SSP's, promovida por la Fundación Produce Michoacán (FPM) y la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), solo 18 respondieron las encuestas, mientras que el segundo grupo de 30 ganaderos, también fueron 18 los que respondieron. Siendo de esta manera 18 ganaderos para el grupo 1 y 18 ganaderos para el grupo 2 que participaron en este trabajo.

Datos generales. Los ganaderos que respondieron las encuestas el 100 % eran del sexo masculino, en una edad que va de los 34 a los 73, sin escolaridad 22.2 %, primaria 5.5 %, secundaria 5.5 %, preparatoria, 16.6 %, universidad 39 % y maestría 11.1 %. En cuanto al segundo grupo, el 94.4 % son ganaderos

the quality and quantity of forage obtained. As well as the increase in animal weight, 28% say it helps to mitigate climate change, reduce soil erosion, improve microclimate and conserve biodiversity. The other, 5.5% considered that forage production is more effective since up to three bovine adult (approximately 400 kg.) were fed per hectare of silvopastoral systems, whereas with the conventional system, only one animal will be maintained. Therefore, they go on showing interest in the training, implementation and management of silvopastoral systems.

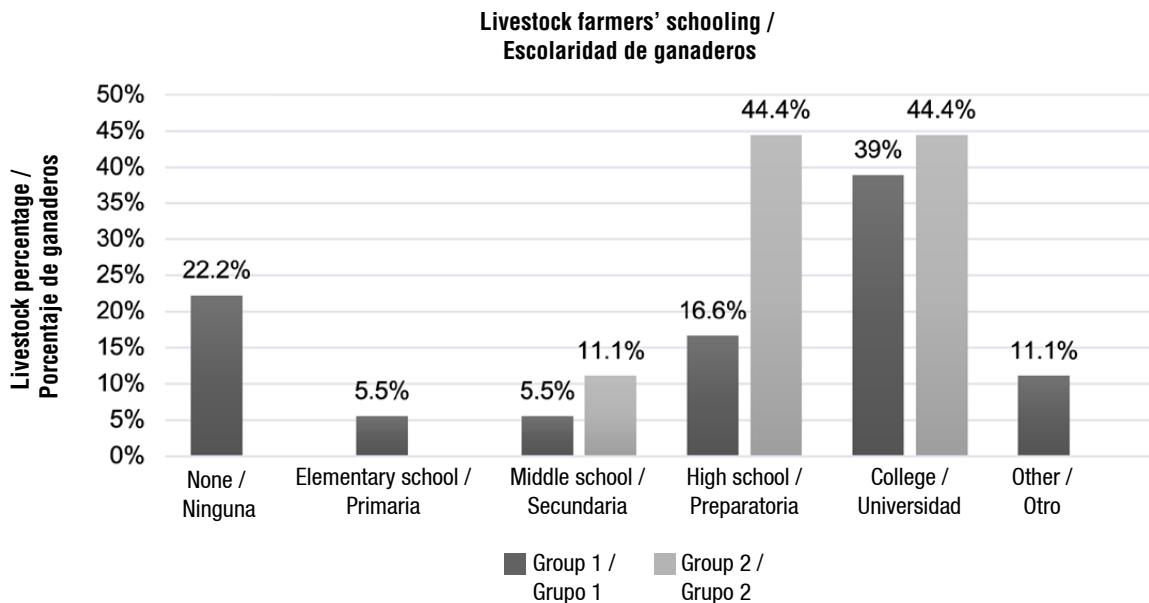
Group 2 indicates that only 55.5% know about silvopastoral systems, the remaining 44.5% do not, however, of this last percentage, 25% indicate that they have heard about it at some point, but do not exactly understand what it is. The 55.5% of livestock farmers who are aware of SSP were asked to adopt these new systems, and 16.6% indicated that they have a silvopastoral system.

Interest in learning about and participating in silvopastoral systems. In group 1, 100% indicated having participated in workshops to learn about and implement these systems, they traveled to the state of Michoacan to learn more about the design

del sexo masculino, que van de una edad de 27 a los 54 años, con escolaridad de un 44.4 % Universidad, otro 44.4 % preparatoria y únicamente el 11.1 % secundaria (Figura 2).

Conocimiento e importancia de los sistemas silvopastoriles. Los resultados para el grupo 1, indican que el 100 % de los ganadores, que hayan o no implementado los SSP, si conocen sobre estos, ahora bien, solo el 78 % aún cuenta con el sistema, el otro 22.2 % lo abandonó. El 66.6 % de los ganaderos indican que el beneficio principal que los sistemas silvopastoriles tienen es la mejora de la calidad de la dieta del ganado debido a la calidad y cantidad de forraje que se obtiene, así como el aumento de peso de los animales, el 28 % dicen que ayuda a mitigar el cambio climático, disminución de la erosión del suelo, mejora del microclima y conservación de la flora y fauna, y el 5.5 % dice que la producción de forraje por hectárea es más efectiva ya que se alimentaban hasta tres animales adultos (400 kg aprox.) por hectárea de sistemas silvopastoriles, mientras que con el sistema convencional se mantenía un animal. Por lo que siguen mostrando interés en la capacitación e implementación y manejo de los sistemas silvopastoriles.

Figure 2. Livestock Farmers' educational level of group 1 and group 2.
Figura 2. Nivel de escolaridad de ganaderos del grupo 1 y grupo 2.



of these systems, 100% were willing to participate in more workshops to continue learning, because despite having this system, they do not use it as it should be, they do not provide the performance that it should be given. In fact, 16.66% accepted (out of curiosity to know more about the topic), 38.9% recognized the benefits that these systems provide in terms of animal production, 16.6% considered that SSPs contribute positively to the environment, 11.1% agreed to attend the course because they received financial support to implement the system and the remaining 16.6% did not respond (Figure 3).

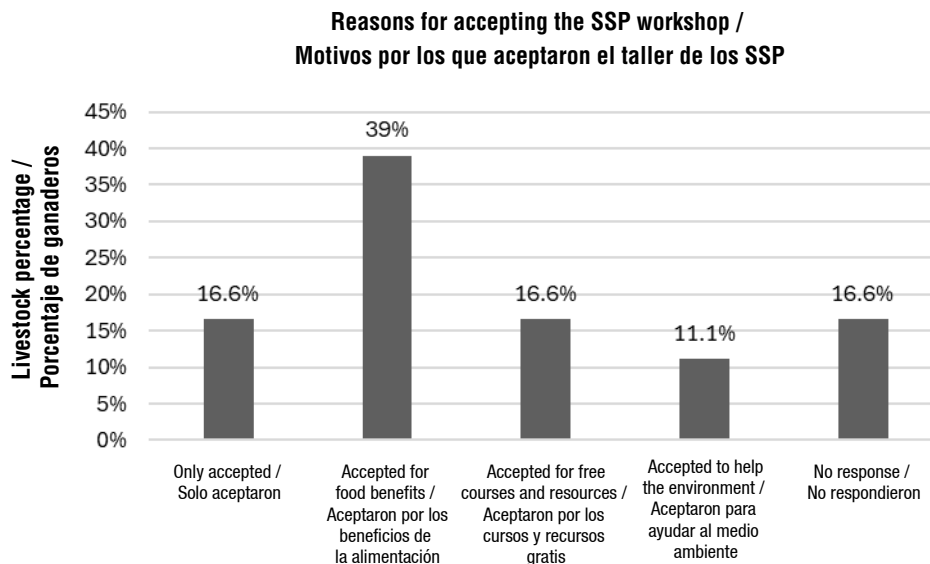
In group 1, although they did not participate in the workshops, 83% of livestock farmers think that silvopastoral systems are a good strategy to diversify, increase and improve the availability of forage for grazing animals, especially in drought seasons when there is a shortage of pasture. In addition, SSP improve microclimate and reduce the temperature of the grazing area, increasing the flora and fauna of the place, contributes the regeneration of the soil and to the mitigation of climate change. They also believe that technological innovations are necessary, beneficial, but often costly, especially for small producers. It is important to constantly seek out technological innovations; these are the ones that could al-

El grupo 2, indica que solo el 55.5 % sabe qué son los sistemas silvopastoriles, el 44.5 % restante no sabe, sin embargo, de este último porcentaje, el 25% indican que en algún momento han escuchado hablar de ello, pero no saben a fondo de qué se trata. Al 55.5 % de los ganaderos que sabe sobre los SSP se les propuso adoptar estos nuevos sistemas, y el 16.6 % indicó que cuenta con un sistema silvopastoril.

Interés por conocer y participar en los sistemas silvopastoriles. En el grupo 1, el 100 % indicó haber participado en talleres para conocer e implementar estos sistemas, viajaron al estado de Michoacán para conocer más de cerca el diseño de estos sistemas, el 100 % estuvo dispuesto a participar en más talleres para seguir aprendiendo, porque a pesar de tener este sistema, no lo usan como se debería, no le brindan el funcionamiento que se le debe dar. De hecho, el 16.66 % aceptó (por curiosidad para saber más sobre el tema), el 38.9 % sabían de los beneficios que estos sistemas brindan en cuanto a la alimentación, el 16.6 % porque pensaron que los SSP ayudan al medio ambiente, 11.1 % porque daban los cursos y les brindaban recursos económicos para implementar el sistema y el 16.6 % restante no respondió (Figura 3).

En el grupo 1, a pesar de que no participaron en los talleres, el 83 % de los ganaderos piensan que los

Figure 3. Reasons for farmers to accept workshops on group 1SSP.
Figura 3. Motivos por los que los ganaderos aceptaron talleres sobre los SSP del grupo 1.



low products to access more specialized markets and more informed and responsible consumers.

In group 2, all of the livestock farmers mentioned that they are interested in taking workshops to learn about silvopastoral systems. Only 50% were aware of the benefits these systems provided; the other 50% had no idea how these systems could benefit them.

Reasons for adopting or not silvopastoral systems. As main reasons for the adoption of SSPs, 77% of group 1 farmers who already have experience with the implementation of these systems, believe that the main reason for not adopting is economic and the remaining 33% think it is technical (Figure 4). For the group 2 livestock farmers, 55.5% consider that the main reason for not adopting a silvopastoral system is technical, since there is little advice to enable them to implement their system properly, 33.3% indicate that the reason is economic and 11.1% say it is due to economic, technical and family reasons (Figure 4).

Based on the experience obtained from implementing of SSPs, among group 1 livestock farmers, 50.5% believe that high establishment costs restrict adoption. 38.9% attribute this to a lack of financial resources to invest, and 11.1% point to insufficient credit (Figure 5).

In group 2, 44.4% indicate that it is due to high costs, another 44.4% to a lack of financial resources for investment, and the remaining 11.1% indi-

systemas silvopastoriles son una buena estrategia para diversificar, incrementar y mejorar la disponibilidad de forraje para el consumo de los animales en pastoreo, sobre todo, en época de secas en la que hay escasez de pasto, además de que disminuye la temperatura del área de pastoreo, aumenta la flora y fauna del lugar, ayuda a la regeneración del suelo y contribuye a la mitigación del cambio climático. También, piensan que las innovaciones tecnológicas son necesarias, buenas pero muchas veces costosas, sobre todo, para un pequeño productor. Es importante la búsqueda de las innovaciones tecnológicas en todo momento, son estas las que podrían hacer que los productos puedan acceder a mercados más especializados y de consumo, más informado y responsable.

En el grupo 2, el 100 % de los ganaderos menciona que están interesados en tomar talleres para aprender acerca de los sistemas silvopastoriles. Únicamente el 50 % sabe de los beneficios que aportan estos sistemas, el otro 50 % no tiene idea de lo que estos sistemas los pueden beneficiar.

Razones para adoptar o no los sistemas silvopastoriles. Como razones principales para la adopción de los SSP, el 77 % de los ganaderos del grupo 1 que ya cuentan con la experiencia de la implementación de estos sistemas, opinan que la razón principal que les impide la adopción es el económico y el 33 % restante piensa que es el factor técnico (Figura 4). En cuanto a los ganaderos del grupo 2, el 55.5 %

Figure 4. Main factor that would prevent the adoption of a SSP, with the experience of group 1
Figura 4. Factor principal que impediría la adopción de un SSP, con la experiencia del grupo 1

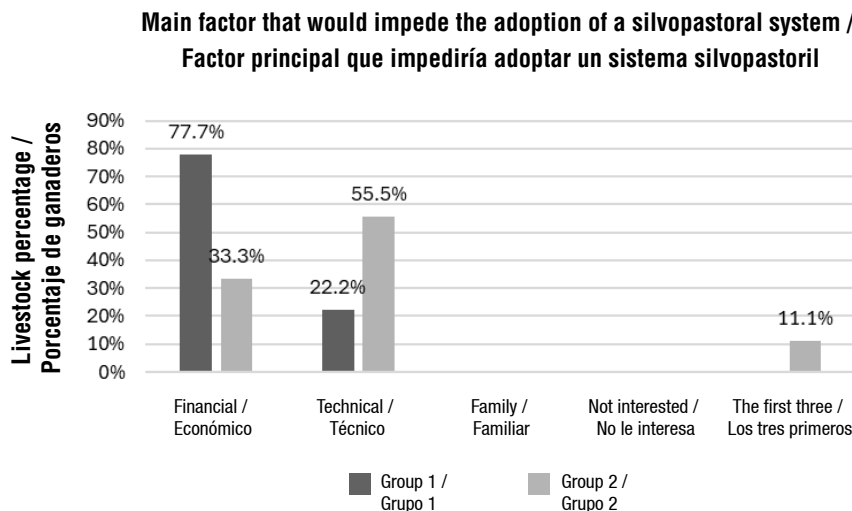
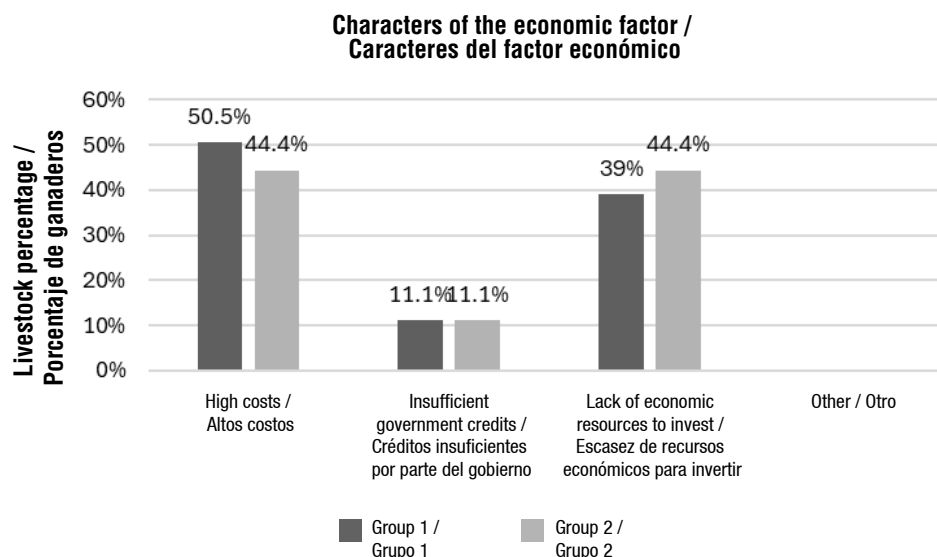


Figure 5. Economic factor characteristics that affect the implementation of SSPs for groups 1 and 2.
Figura 5. Caracteres del factor económico que afectan la implementación de los SSP para los grupos 1 y 2.



cate that it is due to insufficient credit for ranchers (Figure 5).

In group 1, 77.8% of the farmers surveyed are willing to invest financially in implementing silvopastoral systems and 22.2% say they would not invest. However, all farmers would adopt silvopastoral system if the government provided financial support. In group 2, 77.8% indicate that they are willing to invest in the implementation of these systems, 16.5% indicate that they might invest, and 5.5% indicate that they would not invest in these systems (Figure 6), for example, a livestock farmer noted that:

"More ways should be sought to complete the investment, information can be provided to livestock farmers, but sometimes it is not enough, it is necessary to let them know the real cost of the system investment, and also to teach them and talk to them about the long-term benefits [Interview with a livestock farmer, 2020]."

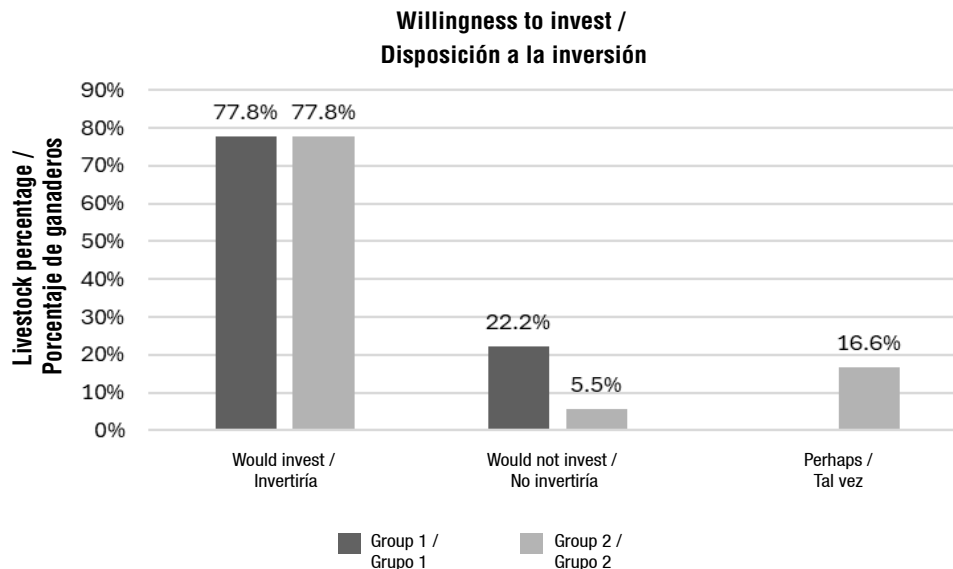
Regarding the technical reason for adoption, 50% of farmers consider that the main difficulty is the waiting time for the establishment of the system, 22.2% consider that the information about the SSPs is insufficient, 5.5% consider that this is due to the lack of workshops on the subject, another 22.2% say

considera la razón principal para la adopción de un sistema silvopastoral es el técnico, ya que es escasa la asesoría que les permita implementar de forma adecuada su sistema, el 33.3 % indica que la razón es económica y el 11.1 % dice que se debe a las razones económicas, técnicas y familiares (Figura 4).

Con la experiencia de la implementación de los SSP, se establece que los ganaderos del grupo 1, el 50.5 % de ellos piensa que los altos costos restringen la adopción, el 38.9 % lo atribuye a la escasez de recursos monetarios para invertir, el 11.1 % señaló por créditos insuficientes (Figura 5). En el grupo 2, el 44.4 % indica que se debe a los altos costos, otro 44.4 % a la escasez de recursos monetarios para invertir y el 11.11 % restante indica que se debe a los créditos insuficientes para los ganaderos (Figura 5).

En el grupo 1, el 77.8 % de los ganaderos encuestados está dispuesto a invertir económicamente en la implementación de los sistemas silvopastoriles y el 22.2 % dice que no le invertiría, sin embargo, el 100 % adoptaría o le daría seguimiento al sistema si el gobierno los apoyara económicamente. En el grupo 2, el 77.8 % indica que está dispuesto a invertir para implementar estos sistemas, el 16.5 % indica que tal vez invertiría y el 5.5 % indica que no invertiría en estos sistemas (Figura 6), por ejemplo, un ganadero señaló que:

Figure 6. Percentage of livestock farmers who would invest in SSPs, by group 2
Figura 6. Porcentaje de ganaderos que invertirían en los SSP, por el grupo 2



that it is due to the complicated management of the animals during grazing period, different growth and recovery speeds between grasses and legumes. In group 2, the technical factor, 66.6% mention that it is due to insufficient information, 33.3% indicate that it is due to the waiting time to establish a silvopastoral system and 11.1% indicate that it is due to the lack of workshops (Figure 7).

Regarding the family factor in group 2, 11.1% of the farmers considered age to be a factor limiting the system's acceptance since older farmers, even though they are aware of all the benefits of silvopastoral systems, they do not adopt them.

In group 1, all of farmers interviewed indicated that silvopastoral systems can be a useful strategy for the state of Yucatan, since there are no large areas of grassland in the state, so livestock farming constantly try to convert natural areas or forest into grassland without getting positive long-term results. However, a silvopastoral system would allow for an arrangement similar to a natural ecosystem, which would help improve animal comfort and mitigate climate change. It would also improve the quality and availability of forage, improving animal weight gain with more and better nutrients for higher-quality animal products. It would also allow to reduce the use of fertilizers, as one interviewee points out:

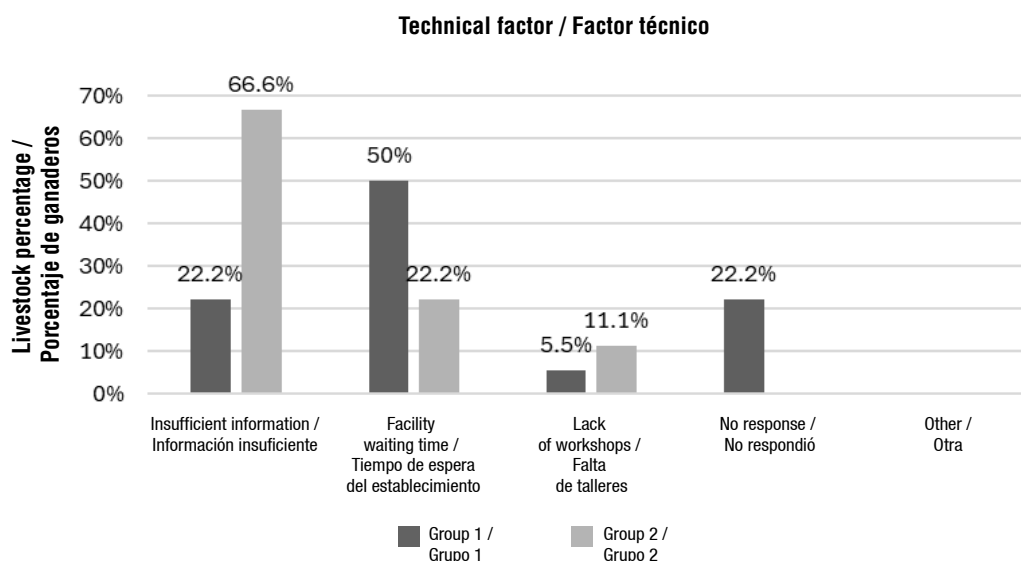
"Se deberían buscar más vías para completar la inversión, se le puede brindar la información a los ganaderos, pero a veces no es suficiente, es necesario hacerles saber el costo real de la inversión del sistema, además, enseñarles y hablarles de los beneficios que se tiene a largo plazo [Entrevista a un ganadero 2020]".

Respecto a la razón técnica de la adopción, el 50% de los ganaderos consideran que la principal dificultad es el tiempo de espera del establecimiento del sistema, el 22.2% considera que la información de los SSP's es insuficiente, el 5.5% considera que se debe a la escasez de talleres sobre el tema, otro 22.2% señala que se debe al manejo complicado de ovinos, ciclos de gramíneas y leguminosas dispersas. En el grupo 2, el factor técnico, el 66.6% menciona que se debe a la información insuficiente, el 33.3% indica que se debe al tiempo de espera para establecer un sistema silvopastoral y el 11.1% indica que se debe a la falta de talleres (Figura 7).

En cuanto al factor familiar en el grupo 2, el 11.1% de los ganaderos dijo que falta la completa aceptación del sistema por parte de los ganaderos de edad avanzada, ya que, aun sabiendo todos los beneficios que estos sistemas aportan, no los adoptan.

En el grupo 1, el 100% de los ganaderos indicaron que los sistemas silvopastoriles pueden ser una

Figure 7. Characteristics of the technical factor that affect the implementation of the SSP, by groups 1 and 2.
Figura 7. Caracteres del factor técnico que afectan la implementación de los SSP, por los grupos 1 y 2.



“These systems are good because they help feed livestock better. It would be good to resume it, especially now that there’s no grass to feed them. The animals take advantage of the uaxim when there is a dry season; it is what they eat the most since it is green and it is what attracts the attention of the cattle. [Interview with a rancher, 2020].”

In group 2 of livestock farmers, it is indicated that 66.6% of them know or have heard about silvopastoral systems. They consider these systems to be a useful strategy for the state, since traditional livestock farming has been used for a long time, causing erosion and loss of soil nutrients, so the silvopastoral system prevents losses and generates better and greater amounts of food for the animals, even during the drought there would be enough food, in addition, it helps in the mitigation of greenhouse gases that damage the environment.

Discussion

Jara et al. (2020) states that the adoption of agricultural technologies is complex, as it is conditioned by social, economic, financial and natural factors; our results confirm this characteristic. Livestock farmers mention that the above factors are involved in the adoption of technological innovations such as SSPs. The process of implementing an SSPs involves

estrategia útil en el estado de Yucatán, ya que, en el estado no hay extensiones grandes de pastizales, por lo que la ganadería intenta constantemente convertir la selva baja en pradera sin obtener resultados positivos a largo plazo, un sistema silvopastoral permitiría tener un arreglo similar al natural, el cual ayudaría a mejorar el confort del animal, ayudaría a la mitigación del cambio climático. Además, mejoraría la calidad y disponibilidad de forraje, lo cual ayudaría al aumento de peso de los animales con más y mejores nutrientes para obtener productos derivados de calidad. También permitiría la reducción del uso de fertilizantes, como bien señala un entrevistado:

“Estos sistemas son buenos porque ayudan a alimentar mejor al ganado, sería bueno retomarlo, sobre todo, ahora que no hay pasto para alimentar al ganado. Los animales aprovechan el uaxim cuando hay temporada de seca, es de lo que más se alimenta ya que se encuentra verde y es lo que más llama la atención del ganado. [Entrevista a un ganadero 2020].”

En el grupo 2 de ganaderos, se indica que el 66.6% de ellos conocen o han escuchado sobre los sistemas silvopastoriles, consideran que estos sistemas son una estrategia útil para el estado, ya que desde hace mucho tiempo se ha utilizado la ganadería tradicional la

the proper management and appropriate selection of tree and shrub plantation species, as well as the proper management of grasses and the use of system synchronization when it includes different forage species.

From an economic perspective, it was manifested from the response of producers to the absence of institutional financial support and the scarcity of resources that producers have to cover the expenses in the implementation of SSPs, a situation that occurs at the general level and has restricted adoption (Ibrahim et al., 2001; Suárez, 2006; Cancino et al., 2016).

The age of livestock farmers has a decisive influence on the adoption of agricultural innovations. In this sense, group 1 was characterized by being older; it is known that older farmers are more reluctant to adopt innovations despite the information, workshops and resources provided in the first instance, in contrast to group 2, livestock farmers are between 27 and 54 years old, and their responses show greater interest in adopting and implementing the systems (Cancino et al., 2016; D'Souza et al., 1993). However, Cancino et al. (2016) state that younger people show little interest in the field. Nevertheless, the survey results show that young people want to know more about SSPs. In the first group, 22% of livestock farmers left the silvopastoral system, indicating that the work of maintaining the paddocks was time-consuming and heavy for them, as they had to prune trees, make paddocks, plant, and rotate animals. This is because they are usually used to doing little work, characteristic of conventional livestock farming. This activity becomes an important factor in the adoption of SSPs, although the remaining 68% of livestock farmers indicate they still have the silvopastoral system, the vast majority of this percentage has it somewhat abandoned, since the trees and paddocks are there, but are not given the management that a SSP indicates, returning to conventional livestock farming.

Regarding the level of education, D'Souza et al. (1993) mention that it influences decision-making for the adoption of innovations. In group 1, about 30% of livestock farmers have only secondary education or lower levels and 70% have high school or col-

lateral, which causes erosion and loss of nutrients from the soil, for which the silvopastoral system avoids losses and generates better and greater quantity of food for the animals, during the drought there would be sufficient food, in addition, it helps in the mitigation of greenhouse gases that damage the environment.

Discusión

Jara et al. (2020) affirm that the adoption of agricultural technologies is complex, as it is conditioned by social, economic, financial and natural factors, the results confirm this characteristic. Livestock farmers mention that the factors mentioned before get involved in the adoption of technological innovations such as SSPs, the process of implementation of an SSP implies the management and the adequate selection of species of plantations of trees and shrubs, as well as the control of the pasture and the use of the synchronization of the system.

In the economic aspect, it was manifested from the response of producers to the absence of institutional financial support and the scarcity of resources that producers have to cover the expenses in the implementation of SSPs, a situation that occurs in the general scope and has restricted adoption (Ibrahim et al., 2001; Suárez, 2006; Cancino et al., 2016).

The age of livestock farmers has a decisive influence on the adoption of agricultural innovations. In this sense, group 1 was characterized by being older; it is known that older farmers are more reluctant to adopt innovations despite the information, workshops and resources provided in the first instance, in contrast to group 2, livestock farmers are between 27 and 54 years old, and their responses show greater interest in adopting and implementing the systems (Cancino et al., 2016; D'Souza et al., 1993). However, Cancino et al. (2016) state that younger people show little interest in the field. Nevertheless, the survey results show that young people want to know more about SSPs. In the first group, 22% of livestock farmers left the silvopastoral system, indicating that the work of maintaining the paddocks was time-consuming and heavy for them, as they had to prune trees, make paddocks, plant, and rotate animals. This is because they are usually used to doing little work, characteristic of conventional livestock farming. This activity becomes an important factor in the adoption of SSPs, although the remaining 68% of livestock farmers indicate they still have the silvopastoral system, the vast majority of this percentage has it somewhat abandoned, since the trees and paddocks are there, but are not given the management that a SSP indicates, returning to conventional livestock farming.

lege, which, according to Marín et al. (2006) and Asfaw et al. (2016) low level of education is an indicator of poverty, which also hinders the adoption of systems, due to low knowledge, in addition to not having access to technology and the internet, this factor is important since it is difficult to access or learn new things, many times they are reluctant to adopt new methods because they do not have enough information or tools to do so, which is important when adopting these new technologies. In group 2, 45% have college degree and 55% have middle and high school, according to the results obtained, despite having advanced levels of schooling, the information they have received from the SSP has not been enough to strengthen their adoption. However, they continue to show interest in learning and are willing to be trained and attend workshops or courses related to silvopastoral systems.

As observed, group 1 indicates that the main factor preventing the adoption of silvopastoral systems is economic, followed by technical. Group 2 indicates that the main factor is the technical, followed by economic one, and the third is the family. Group 1, can show these two indicators because of the experience they have had with silvopastoral systems, while those in group 2 can conclude that they lack information about what SSPs are, which according to Cancino et al. (2016) and Lee et al. (2020), the dissemination strategy through workshops and technical advice can improve the acceptance and implementation of SSPs. Buck et al. (2019) mention that, in Australia, the advice from technical researchers motivates producers to implement silvopastoral systems based on *L. leucocephala*.

Regarding economic aspects, both groups argue that high implementation costs limit the adoption of SSPs, coupled with low financial solvency, including a shortage of available agricultural credit. The initial cost is high for small producers, such as several small farmers in Yucatan, making the implementation and establishment of SSPs complex. For example, some producers mention that in 2012-2014 the investment cost was around \$30,000.00 pesos per 2-3 ha. As cited in González (2013), the cost of a technological package was on average \$12,800 pesos per ha. Considering that economic benefits can be

tar, rotar a los animales, esto es porque por lo general están acostumbrados a realizar poco trabajo, característico de la ganadería convencional. Esta actividad se convierte en un factor importante, en la adopción de los SSP, a pesar de que el 68 % restante de los ganaderos indica aún contar con el sistema silvopastoral, la gran mayoría de este porcentaje lo tiene de cierta forma en abandono, ya que los árboles y los potreros están, pero no se les da el manejo que un SSP indica, regresando a la ganadería convencional.

Con relación a la escolaridad D'Souza et al. (1993), mencionan que influye en la toma de decisiones para la adopción de las innovaciones. En el grupo 1, cerca del 30 % de los ganaderos solamente tienen hasta la secundaria o niveles inferiores y el 70 % cuenta con preparatoria o universidad, que, de acuerdo con Marín et al. (2006) y Asfaw et al. (2016) mencionan que la baja escolaridad es un indicador de pobreza, que además obstaculiza la adopción de los sistemas, debido al bajo conocimiento, además de que no tienen acceso a la tecnología y al internet, este factor es importante, ya que, es complicado acceder o aprender lo nuevo, muchas veces se niegan a querer adoptar nuevos métodos porque no tienen la información o herramientas suficientes para llevarlo a cabo, lo cual es importante ante la adopción de estas nuevas tecnologías. En el grupo 2 el 45 % cuenta con universidad y el 55 % cuenta con secundaria y preparatoria, según los resultados obtenidos, a pesar de tener grados de escolaridad avanzados, la información que les ha llegado de los SSP no ha sido suficiente para fortalecer su adopción. Sin embargo, siguen mostrando interés por aprender y están dispuestos a capacitarse y asistir a talleres o cursos relacionados con los sistemas silvopastoriles.

Como se observa el grupo 1, indica que el factor principal que impide la adopción de los sistemas silvopastoriles es el económico, seguido del técnico. El grupo 2 indica que el factor principal es el técnico, seguido del factor económico y el tercer lugar corresponde al familiar. El grupo 1, puede mostrar esos dos indicadores debido a la experiencia que han tenido con los sistemas silvopastoriles, mientras que los del grupo 2, se puede concluir que les falta información de lo que son los SSP, que de acuerdo con Cancino et al. (2016) y Lee et al. (2020), la estrategia de difusión por medio de los talleres y asesorías técnicas pue-

around 2.8% over a ten-year period, González (2013) and Milera (2013) indicate that SSP's outputs may be 2.8% higher than the investment over ten years.

From the point of view of Cancino et al., (2016), low-income livestock farmers have limited opportunities to adopt new technologies. Partly because of low price of animals for sale, in addition to intermediary system that make it difficult to sell at a better price, and the need to solve urgent and immediate problems related to feed, producers cannot wait six to twelve months for the silvopastoral system to be established before they can use it for feed their animals. On the other hand, governments provide little financial resources to these types of projects aimed at restoring livestock farming.

In relation to the time that producers wait, from establishment to use of the system, this has been a recurring factor mentioned by producers as one of the main limitations of SSPs. In the experience that several of them have had, it seemed like a long time (from planting to the first grazing, which is 6-8 months) and was probably one of the causes of the abandonment of silvopastoral systems, this agrees with what Suárez (2006) points out, a long period is required between establishment and use by animals so that they do not damage the trees, he also mentions that in Cuba what they did was to intercrop short-cycle crops such as corn, melon, squash, etc., which also produced economic benefits from the sale of the products, before the period of use of the system. Another limitation is related to the lack of information. In this sense, when implementing a project that involves producers, it will be of utmost importance to ensure timely monitoring and relevant information to the livestock farmers involved. An additional aspect relates to the lack of training courses, this can be explained by the remoteness of several livestock-raising regions in the state of Yucatan, the lack of organization among livestock farmers, and the lack of communication and interaction between local livestock associations, institutions, and governments.

As mentioned by Toruño et al. (2015) and Shelton (2019) mention, it is necessary to strengthen the dissemination of information to increase the adoption of this new innovation, which has significant benefits. It is necessary to visit or provide information to

den mejorar la aceptación e implementación de los SSP. Buck et al. (2019), mencionan que, en Australia, el asesoramiento de parte de técnicos investigadores motiva a los productores a implementar sistemas silvopastoriles a base de *L. leucocephala*.

En relación con los aspectos económicos, ambos grupos externaron que los altos costos de la implementación limitan la adopción de los SSP, sumado a la poca solvencia económica, incluyendo la escasez de créditos disponibles al campo. El costo inicial resulta elevado para productores pequeños, como varios de los que existen en Yucatán, por ello, hace compleja la implementación y establecimiento de los SSP. Por ejemplo, algunos productores mencionan, que en el año 2012-2014 el costo de inversión fue cerca de \$30,000.00 pesos por 2-3 ha. Como se citó en González (2013) el costo de un paquete tecnológico fue en promedio de 12 800 pesos por ha. Considerando además que los beneficios económicos pueden ser alrededor del 2.8 % en un periodo de diez años, González (2013) y Milera (2013), señalan que los egresos de los SSP's pueden ser del 2.8 % mayor a la inversión en diez años.

Desde el punto de vista de Cancino et al. (2016), los ganaderos de bajos recursos tiene oportunidad remota para adoptar las nuevas tecnologías. En parte por el bajo precio de los animales a la venta, además del intermediario que dificulta en ocasiones la venta a mejor precio y la necesidad de resolver problemas urgentes e inmediatos relacionados con la alimentación, donde los productores no pueden esperar de seis a doce meses a que el sistema se encuentre establecido para poder alimentar sus animales. Por otro lado, los gobiernos destinan poco recurso económico a este tipo de proyectos orientados a la restauración de la ganadería.

En relación con el tiempo que esperan los productores, desde el establecimiento hasta el uso del sistema, ha sido un factor recurrente que mencionan los productores como una de las principales limitantes de los SSP. En la experiencia que han tenido varios de ellos, se les hizo un tiempo largo (desde la plantación a la primera poda que es de 6-8 meses) y probablemente fue alguna de las causas del abandono de los sistemas silvopastoriles, lo anterior, concuerda con lo que Suárez (2006) señala, se requiere un período largo entre el establecimiento y la utilización por parte

producers far from large cities, and to include and visit police stations where there are livestock farmers with few resources but with high expectations for agricultural innovations.

Considering Cancino et al. (2016), they claim that livestock farmers have the necessary knowledge about the benefits that SSPs provide, as indicated in the results. Both livestock groups mention that silvopastoral systems can be a useful strategy in the state of Yucatan. However, as Radrizzani et al. (2019) mention, livestock farmers have gotten used to managing a treeless pasture, a space that they themselves have cut down for decades, therefore, it is difficult to convince them that livestock systems should be reforested and that tree and shrub species offer great opportunities to the livestock sector and the environment. Future livestock farming requires new innovations such as the different types of silvopastoral systems, which have been successfully implemented in other regions and which have demonstrated increased productivity and profitability, being a technological innovation that allows for an efficient increase in forage quality and animal welfare (Van Zanten et al., 2019). In this regard, it is necessary to strengthen programs and projects that promote new technologies in livestock farming. There is also a need to strengthen research programs that make it possible for farmers to have greater access to the economic and environmental benefits of silvopastoral systems.

In this regard, it is necessary to strengthen programs and projects that promote new technologies in livestock farming. It is also necessary to strengthen research programs that make the economic and environmental benefits of silvopastoral systems more accessible to livestock farmers.

Conclusion

Despite the significant benefits achieved by implementing silvopastoral systems, many livestock farmers lose interest due to the lack of technical support and supervision during the implementation phase. Some even mention that their colleagues abandoned the system due to the increased work required for proper management.

The information available on silvopastoral systems for livestock farmers is limited, as they require,

de los animales para que no dañen los árboles, también menciona que en Cuba lo que hicieron fue sembrar intercalados cultivos de ciclo corto como maíz, melón, calabaza, etc., lo que también les produjo beneficio económico por la venta de los productos, antes del periodo de utilización del sistema. Otra limitante se relaciona con la falta de información, en este sentido, cuando se implementa un proyecto que involucre a los productores, será de suma importancia asegurar el seguimiento oportuno y la información pertinente a los ganaderos involucrados. Un aspecto adicional, se relaciona con la falta de los cursos de capacitación, lo anterior se puede entender por la lejanía de varias de las regiones ganaderas en el estado de Yucatán, la falta de organización de los ganaderos y la falta de comunicación e interacción entre las asociaciones locales ganaderas, las instituciones y los gobiernos.

Como mencionan Toruño et al. (2015) y Shelton (2019), es necesario fortalecer la difusión de información para aumentar la adopción de esta nueva innovación que tiene grandes beneficios. Es necesario visitar o hacerles llegar la información a los productores alejados de las grandes ciudades, incluir y visitar comisarías donde existen ganaderos con pocos recursos, pero con grandes expectativas en las innovaciones agropecuarias.

Teniendo en cuenta a Cancino et al. (2016), afirman que los ganaderos tienen el conocimiento necesario sobre los beneficios que los SSP brindan como indican en los resultados. Ambos grupos de ganaderos mencionan que los sistemas silvopastoriles pueden ser una estrategia útil en el estado de Yucatán. Sin embargo, como menciona Radrizzani et al. (2019) los ganaderos se han acostumbrado al manejo de un pastizal sin árboles, un espacio que ellos mismos han talado desde hace décadas, por lo tanto, es difícil convencerlos que los sistemas ganaderos deberían reforestarse y que especies arbóreas y arbustivas ofrecen grandes oportunidades al sector ganadero y al medio ambiente. La ganadería del futuro requiere de nuevas innovaciones como lo son los diferentes tipos de sistemas silvopastoriles, mismos que en otras regiones se han implementado con éxito y que han demostrado el aumento de la productividad y rentabilidad, siendo una innovación tecnológica que permite aumentar eficientemente la calidad de los forrajes y el bienestar animal (Van

in addition to information, workshops and supervision for the implementation of a silvopastoral system.

The family factor is pointed out as a very important component that may indicate that young people look for adopting these new technologies due to the knowledge they are acquiring. However, adults, despite knowing the benefits, do not encourage them to switch to conventional livestock farming practices. This could lead to parents or grandparents who own ranches not allowing them to adopt new technologies because they are not convinced of the benefits of silvopastoral systems.

It is essential for governments (local, regional, and national) to articulate efforts and strengths with several institutions to present and promote projects on new technologies such as silvopastoral systems. This will not only facilitate workshops and courses but also generate materials and curricula that will enable livestock farmers to implement these systems starting with small areas, providing the necessary follow up to convert conventional livestock systems into low carbon ones, such as silvopastoral systems.

Acknowledgments

To the livestock farmers surveyed for giving their valuable time to respond and share their experiences and concerns about livestock projects on silvopastoral systems, despite the contingency caused by Covid-19.

End of English version

References / Referencias

- Ajay Kumar, G. R., Dharmesh S., & Pratiksha P. (2024). Use of Survey Method in Research IJFMR Volume 6, DOI 10.36948/ijfmr.2024.v06i04.24773.<https://www.ijfmr.com/research-paper.php?id=24773>
- Asfaw S., Di Battista F., & Lipper L. (2016). Agricultural technology adoption under climate change in the Sahel: Micro-evidence from Niger. *Journal of African Economies*, 25(5): 637-669.
- Broom, D. M., Galindo, F. A., & Murgueitio, E. (2013). Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, pp. 1471-2954.

Zanten et al., 2019). En este sentido, es necesario fortalecer programas y proyectos que promuevan las nuevas tecnologías en la ganadería. También se hace necesario fortalecer los programas de investigación que permitan estar disponibles a los ganaderos para que tengan mayor accesibilidad a los beneficios económicos y ambientales de los sistemas silvopastoriles.

Conclusión

A pesar de los grandes beneficios obtenidos por la implementación de los sistemas silvopastoriles, varios ganaderos pierden el interés debido al poco seguimiento técnico y de supervisión durante su etapa de implementación, inclusive algunos mencionan que sus compañeros abandonaron el sistema por el esfuerzo de trabajo que se requiere para el manejo adecuado.

La información disponible sobre los sistemas silvopastoriles para los ganaderos es limitada ya que ellos requieren, además de la información, talleres y supervisión para la implementación de un sistema silvopastoril.

El factor familiar es señalado como un componente muy importante que puede indicar que los jóvenes buscan adoptar estas nuevas tecnologías por el conocimiento que van adquiriendo, Sin embargo, las personas adultas a pesar de conocer los beneficios que esto significa, no los hace cambiar a las prácticas convencionales de la ganadería. Lo anterior, podría provocar que los padres o abuelos dueños de los ranchos no les permitan adoptar las nuevas tecnologías porque no están convencidos de las bondades de los sistemas silvopastoriles.

Es necesario que los gobiernos (locales, regionales y nacionales) se unan a las diversas instituciones y que presenten y promuevan proyectos sobre las nuevas tecnologías como lo son los sistemas silvopastoriles. Lo anterior permitirá además de impartir los talleres y cursos, generar materiales o créditos que permitan a los ganaderos poder implementar estos sistemas empezando con pequeñas áreas, proporcionando el seguimiento necesario para poder convertir los sistemas ganaderos convencionales, en sistemas bajos de carbono, como los sistemas silvopastoriles.

- Buck S., Rolfe J., Lemin C., & English B. (2019). Adoption, profitability and future of *Leucaena* feeding systems in Australia. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 7(4): 303-314.
- Cancino R., Zebadúa M., Toral J., Garay A., & Martínez J. (2016). Adopción de sistemas silvopastoriles y contexto sociocultural de los productores: apoyos y limitantes. *Revista Mexicana Ciencias Pecuarias*, 7, 471-488.
- D'souza G., Cyphers D., & Phipps T. (1993) Factors affecting the adoption of sustainable agricultural practices. *Agricultural and Resource Economics Review*, 22(2): 159-165.
- Feria Ávila, H., Matilla González, M., & Mantecón Licea, S. (2020). La entrevista y La encuesta: ¿métodos o técnicas de indagación empírica? *Didáctica y Educación* ISSN 2224-2643, 11(3), 62-79. <https://revistas.ult.edu.cu/index.php/didascalía/article/view/992>
- González J.M. (2013). Costos y beneficios de un sistema silvopastoril intensivo (SSPI), con base en *Leucaena leucocephala* (Estudio de caso en el municipio de Tepalcatepec, Michoacán, México). *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(3): 35-50.
- Ibrahim, M., Alonzo, M., Gómez, M., & Prins, K. (2001). Potencial y limitaciones para la adopción de sistemas silvopastoriles para la producción de leche en Cayo, Belice. *CATIE, Turrialba* (Costa Rica), 8(4).
- Ilker Etikan, Sulaiman Abubakar Musa, & Rukayya Sunusi Alkassim. (2015). Comparación entre el muestreo por conveniencia y el muestreo intencional. *Revista estadounidense de estadística teórica y aplicada*. 5(1), 1-4. <https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20160501.11>
- INEGI (2018). Mapa de Yucatán. División Municipal. https://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/entidades/div_municipal/yucmpios.pdf
- Jara R. R., Russy S., Roco L., Fleming M. D., & Engler A. (2020) Factors affecting the adoption of agroforestry practices: insights from silvopastoral systems of Colombia. *Forests*, 11(6).
- Lara Pulido J. A., Guevara Sanginés A., & Torres Rojo J. M. (2022). Análisis económico para la transición a sistemas de producción ganadera regenerativa de bovinos en Chiapas, Chihuahua, Jalisco y Veracruz, México: Informe Final. Fondo mexicano para la conservación de la naturaleza, A.C.
- Lee S., Bonatti M., Löhr K., Palacios V., Lana M., A., & Sieber S. (2020). Adoption potentials and barriers of silvopastoral system in Colombia: Case of Cundinamarca region. *Cogent Environmental Science*, 6(1): 182-363.
- Mahecha L. (2003). Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación en la

Agradecimientos

A los ganaderos encuestados por brindar parte de su valioso tiempo en responder y compartir sus experiencias y preocupaciones acerca de los proyectos ganaderos sobre los sistemas silvopastoriles, a pesar de la contingencia ocasionada por el Covid-19.

Fin de la versión en Español

- ganadería colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 16: 11-18.
- Marín Y., Ibrahim M., Villanueva C., Ramírez E., & Sepúlveda C. (2006). Los impactos de un proyecto silvopastoril en el cambio de uso de la tierra y alivio de la pobreza en el paisaje ganadero de Matiguas, Nicaragua. *Agroforestería de las Américas*, (45): 109-116.
- Martínez V., Flores J., & Pérez R. (2002). Función de producción de la ganadería de doble propósito de la zona oriente del estado de Yucatán, México, 40, 187-192.
- Milera M. (2013). Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente. *Avances en investigación Agropecuaria*, 17(3): 7-24.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Radrizzani A., Pachas N. A., Gándara L., Goldfarb C., Peticari A., Lacorte S., & Pueyo, D. (2019). *Leucaena* feeding systems in Argentina. I. Five decades of research and limitations for adoption. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 7(4): 381-388.
- Ramírez L., & Rivera J. (2004). La ganadería en el contexto de la biodiversidad. *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*, 108-110.
- Ramírez A. L., Solorio S., F. J., Aguilar C. F., Ayala B. A. J., & Ku V., J. C. (2019) *Leucaena leucocephala* feeding Systems for cattle Production in Mexico, 7: 375-380.
- Rivera Herrera, J. E., Molina B. I., Chará O. J., Murgueitio R. E., & Barahona R., R. (2017). Sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit: alternativa productiva en el trópico ante el cambio climático. *Pastos y Forrajes*, 40(3): 171-183.
- Shelton H., M. (2019). International *Leucaena* conference 2018: Highlights and priorities. *Tropical Grasslands*, 7 (4): 469-478.

- Suárez T. C. J. (2006). Limitaciones en la adopción de los sistemas silvopastoriles en Latinoamérica. *Pastos y forrajes*, 29: 1-6.
- Toruño I., Mena Urbina. M. A., & Guharay, F. (2015). Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles.
- Van Zanten H. H., Van Ittersum M. K., & De Boer I. J. (2019). The role of farm animals in a circular food system. *Global Food Security*, 21: 18-22.
- Vázquez Velázquez, J, Carrión Osorio, E., Rodríguez Orozco, N., Ibarra Morales, J. P., Santamaría Monarrez, J., Cruz Morales, A, Patricio Silva, E., Mendoza Galarza, J. A., Sánchez M., Flores Sánchez, J, J, & Pulido Albores, A. R. (2020). Programa estatal de extensión rural para la ganadería sostenible en Veracruz. Gobierno de México. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Colegio de Posgraduados.



Land use change and fragmentation in the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas

Adriana Paredes-González¹
Luz Judith Rodríguez-Esparza^{2*}
Valentín José Reyes-Hernández¹
Patricia Hernández-de la Rosa¹
Alejandro Velázquez-Martínez¹
Luis Antonio Tarango-Arámbula³

Abstract

Landscape fragmentation and habitat loss are the primary threats to biodiversity, and the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas in Veracruz is no exception. This study has three main objectives: to identify changes in land use and vegetation, to project changes for 2050, and to analyze the transformation of landscape structure. Using satellite imagery and statistical methods, the aim is to provide data that can inform the development of region-specific conservation and management strategies. An increase in patch density was found, along with a reduction in patch complexity, indicating that patches have become simpler and more compact, suggesting a loss of structural diversity and landscape homogenization. The fragmentation of forested patches was identified. Therefore, habitat fragmentation was confirmed in the Reserve, a process that has not decreased despite the increase in forest area between 1994 and 2021. Markov chain models estimated that by 2050, the dominant land cover will be forest use.

Keywords: Fragmentation, landscape metrics, land use trend.

Transformación del uso de la tierra y fragmentación en la reserva de la biósfera Los Tuxtlas

Resumen

La fragmentación del paisaje y la pérdida de hábitats son las principales amenazas para la biodiversidad, y en el caso de la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas, Veracruz, no es la excepción. Este estudio tiene tres objetivos principales: identificar los cambios en el uso del suelo y la vegetación, proyectar los cambios para 2050, y analizar la transformación de la estructura del paisaje. Utilizando imágenes satelitales y métodos estadísticos, se busca proporcionar información para generar estrategias de conservación y manejo adaptadas a la región. Se encontró un incremento en la densidad de parches y se observó una reducción de su complejidad, lo que indica que los parches se volvieron más simples y compactos, lo que sugiere una pérdida de diversidad estructural y homogenización del paisaje. Se identificó la desagregación de los parches de uso forestal. Por lo anterior, se corroboró la presencia de fragmentación del hábitat en la Reserva, un proceso que no ha disminuido a pesar del incremento de la superficie forestal entre 1994 y 2021. Se estimó, mediante cadenas de Markov, que para el año 2050 la cobertura dominante será el uso forestal.

Palabras clave: Fragmentación, métricas del paisaje, tendencia de uso de suelo.

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Postgrado 12 en Ciencias Forestales. Carretera México -Texcoco, km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56264.

²Universidad Autónoma de Aguascalientes, Investigadora por México Conahcyt- Depto. de Matemáticas y Física. Av. Universidad núm. 940, C.U., Aguascalientes, Ags. México. C.P. 20131.

³Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Ganadería. Iturbide núm. 73, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí. México. C. P. 78620.

*Corresponding author: judithr19@gmail.com Tel: 595104083 ORCID ID: 0000-0003-2241-1102

Introduction

The Protected Natural Area (PNA) of the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas in Veracruz protects a high diversity of plants and animals, which is threatened by factors such as population growth, livestock farming, deforestation, water pollution, and the illegal extraction of flora and fauna (SEMARNAT, 2018). This PNA is home to 2 697 plant species, 17 of which are endangered (SEMARNAT, 2018). It also serves as a habitat for 565 bird species, 139 mammal species, 166 amphibian and reptile species, 109 fish species, and 1 117 insect species (SEMARNAT, 2016).

Land use changes in this area are driven by a combination of natural and human-induced factors, including agriculture, deforestation, and urbanization. These activities have been identified as the main contributors to habitat fragmentation in the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas (Rutledge, 2003).

According to Neger & Crespo Guerrero (2021), between 2007 and 2011, the PNA of Los Tuxtlas lost 928 hectares of forest, putting forest cover at risk and exacerbating soil erosion and fertility loss. These authors emphasize that the lack of resources and the absence of authority from the responsible institutions, coupled with the promotion of extensive livestock farming, worsen the situation by creating extensive areas of grassland that contribute to soil degradation

These landscape transformation processes are not exclusive to the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas but are part of a broader trend observed in multiple Protected Natural Areas (PNAs) in the country and in the tropical region (Reynoso Rosales, 2011).

It is important to highlight that habitat fragmentation is a process in which vegetation patches are progressively subdivided and isolated, increasing both the number and the edges of the patches while reducing their average size (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2020; Rutledge, 2003). This alteration in landscape configuration disrupts the flow of resources, such as organisms and nutrients, which affects the structure and functioning of the ecosystem (Rutledge, 2003; Rogan & Lacher, 2018). Moreover, fragmentation and habitat loss interact directly, affecting species abundance,

Introducción

El Área Natural Protegida (ANP) de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, Veracruz, resguarda una alta diversidad de plantas y animales, la cual se encuentra amenazada por el crecimiento poblacional, la ganadería, la deforestación, la contaminación de cuerpos de agua, y la extracción ilegal de flora y fauna (SEMARNAT, 2018). Esta ANP cuenta con el registro de 2 697 especies de flora, entre ellas 17 en peligro de extinción (SEMARNAT, 2018). Además, es el hábitat de 565 especies de aves, 139 especies de mamíferos, 166 especies de anfibios y reptiles, 109 especies de peces y 1 117 especies de insectos (SEMARNAT, 2016).

Los cambios en el uso del suelo en esta área se deben a factores tanto naturales como antrópicos, entre ellos la agricultura, la deforestación y la urbanización, que han sido identificados como los principales causantes de la fragmentación del hábitat en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (Rutledge, 2003).

Según Neger & Crespo Guerrero (2021), mencionan que en esta ANP entre 2007 y 2011, se perdieron 928 hectáreas de bosque, lo que pone en riesgo la cobertura forestal, agrava la erosión y pérdida de fertilidad del suelo. Estos autores resaltan que, la falta de recursos y la ausencia de autoridad de las instituciones encargadas, junto con la promoción de la ganadería extensiva, empeoran la situación al generar vastas áreas de pastizales que contribuyen al deterioro del suelo.

Estos procesos de transformación del paisaje no son exclusivos de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, sino que forman parte de una tendencia observada en múltiples Áreas Naturales Protegidas (ANP) del país y de la región tropical (Reynoso Rosales, 2011).

Cabe resaltar que, la fragmentación del hábitat es un proceso en el que los parches de vegetación se subdividen y aíslan progresivamente, lo que incrementa tanto el número como el borde de los parches, mientras que reduce su tamaño promedio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2020; Rutledge, 2003). Esta modificación en la configuración del paisaje altera el flujo de recursos, como organismos y nutrientes, lo que afecta la estructura y funcionamiento del ecosistema (Rutledge, 2003; Rogan & Lacher, 2018). Además, la fragmenta-

richness, and distribution, as well as genetic diversity (Rogan & Lacher, 2018; Edge et al., 2017). It is essential to document these processes, because the impacts may appear with a time lag in the affected populations (Baranyi et al., 2011).

Given the ecological significance of this region, it is essential to understand the magnitude and trend of landscape transformation over time (Perry et al., 2008). This study is groundbreaking as it combines the analysis of land use and vegetation by assessing land cover changes, transformation trends using Markov chains, and the dynamics of landscape structure through spatial and statistical methods. To assess landscape fragmentation, several metrics are employed to characterize its composition and configuration (With, 2019). Furthermore, the use of historical satellite images from 1986, 1994, and 2021, along with specialized software and a broad analysis period, enables a more precise evaluation of changes in the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas.

These analyses provide valuable information to understand similar processes in other PNA with comparable ecological and socio-economic characteristics. In this way, conservation and management strategies adapted to different contexts can be developed (Neger & Crespo Guerrero, 2021). The results of this study will contribute to both the knowledge of the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas and the formulation of management strategies aimed at mitigating the negative impacts of human activities on ecosystems.

Thus, this research has three main objectives: to identify vegetation cover and land use changes; to determine the trend of vegetation cover and land use changes for the year 2050; and to analyze the transformation in the landscape structure of the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas, Veracruz, with statistical data from the years 1986, 1994 and 2021

It is important to note that the year 2050 was selected as the time horizon due to its significance in international conservation and sustainable development commitments, including the Sustainable Development Goals (SDGs) and global climate targets (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2022).

ción y la pérdida de hábitat interactúan directamente, afectando la abundancia, riqueza y distribución de especies, así como la diversidad genética (Rogan & Lacher, 2018; Edge et al., 2017). Documentar estos procesos es crucial, ya que sus efectos pueden manifestarse con un desfase temporal en las poblaciones afectadas (Baranyi et al., 2011).

Dada la relevancia ecológica de esta región, es fundamental entender la magnitud y tendencia de la transformación del paisaje a lo largo del tiempo (Perry et al., 2008). Este estudio es innovador porque integra el análisis del uso de suelo y la vegetación, a través de la evaluación de cambios en la cobertura, las tendencias de transformación mediante cadenas de Markov, y la dinámica de la estructura del paisaje empleando análisis espacial y métodos estadísticos. Para examinar la fragmentación del paisaje, se aplican diversas métricas que caracterizan su composición y configuración (With, 2019). Además, la utilización de imágenes satelitales históricas de 1986, 1994 y 2021, junto con un software especializado y un periodo de análisis amplio, permite una evaluación más precisa de los cambios en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas.

Estos análisis proporcionan información valiosa para comprender procesos similares en otras ANP con características ecológicas y socioeconómicas comparables. Así, se podrán desarrollar estrategias de conservación y manejo adaptadas a diversos contextos (Neger & Crespo Guerrero, 2021). Los resultados de este estudio contribuirán tanto al conocimiento de la reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, como a la formulación de estrategias de manejo, con el fin de mitigar los impactos negativos de las actividades humanas sobre sus ecosistemas.

Así pues, esta investigación tiene tres objetivos principales: identificar los cambios en el uso del suelo y vegetación; determinar la tendencia de cambio de uso de suelo y vegetación para el año 2050; y analizar la transformación en la estructura del paisaje de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, Veracruz, con datos estadísticos de los años 1986, 1994 y 2021.

Cabe mencionar que el horizonte temporal del año 2050 se elige debido a su relevancia en los compromisos internacionales de conservación y desarrollo sostenible, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Method

Study area

The Biosphere Reserve of Los Tuxtlas covers an area of 155 122.46 ha. This PNA is located in the south-eastern part of the state of Veracruz, Mexico, between the coordinates 18.727° and 18.22° N, and -95.318° and -94.664° W (Figure 1). It covers the territory of eight municipalities: Catemaco, Hueyapan de Ocampo, San Andrés Tuxtla, Santiago Tuxtla, Ángel R. Cabada, Acayucan, Soteapan, and Tatahuicapan de Juárez. The reserve is subdivided into the regions of Sierra de Santa Marta, Volcán de San Martín Tuxtla and Lago de Catemaco (Durand Smith, 2009). It consists of three core zones covering 29 720 ha, with a buffer zone of 125 401 ha (Quintanar Ashley, 2015).

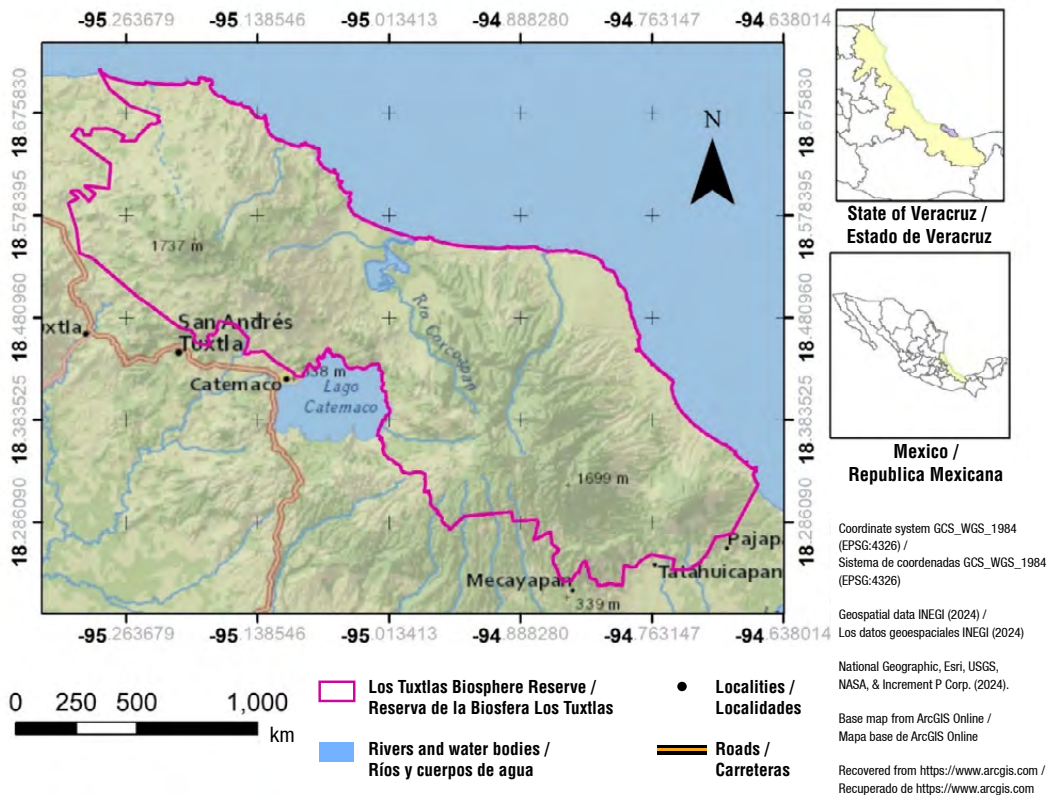
(ODS) y las metas climáticas globales (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2022).

Método

Área de estudio

La Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (RBLT) tiene una extensión de 155 122.46 ha. Esta ANP se localiza al su-reste del estado de Veracruz, México, entre las coordenadas 18.727° y 18.22° de latitud Norte, -95.318° y -94.664° de longitud Oeste (Figura 1). Abarca territorio de ocho municipios: Catemaco, Hueyapan de Ocampo, San Andrés Tuxtla, Santiago Tuxtla, Ángel R. Cabada, Acayucan, Soteapan y Tatahuicapan de Juárez. Esta ANP se subdivide en las regiones de la Sierra de Santa Marta, Volcán de San Martín Tuxtla y Lago de Catemaco (Durand Smith, 2009). Se divide en tres

Figure 1. Location of the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas
Figura 1. Ubicación de la reserva de la biosfera Los Tuxtlas



Fuente: Elaboración propia con datos vectoriales de INEGI, 2024
Source: Compiled by the author with vector data from INEGI, 2024

It belongs to the Gulf Coastal Plain physiographic province (INEGI, 2001).

The climate units of this PNA are classified as humid warm and semi-humid warm (INEGI, 2021). The average annual temperature ranges between 20°C and 24°C, with an evaporation rate of 1 200 mm (INEGI, 2007, 2021). The average annual precipitation varies between 2 500 mm and 4 500 mm (INEGI, 2021). Additionally, the area includes 3 300.38 ha wetlands and experiences soil moisture for 10 to 12 months of the year (INEGI, 2012). The predominant soils of this region are Acrisol, Feozem, Litosol, Luvisol, and Vertisol (INEGI, 2014). Regarding land use, it is estimated that 60 % is degraded agricultural land, 11.39 % secondary vegetation, and 27 % consists of cloud forest and rainforest (Vega-Vela et al., 2018).

Vegetation and land use change

Three satellite images from the United States Geological Survey (USGS) site (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), were considered for this analysis, corresponding to the years 1986, 1994, and 2021. The image acquisition data is shown in Table 1. Additionally, atmospheric corrections were applied using the Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) in QGIS 3.16 (QGIS Development Team, 2021), which employs the Dark Object Subtraction (DOS) algorithm for the atmospheric correction of satellite images.

The pixel size of the Sentinel 2 image was also standardized to 30 meters. Subsequently, supervised classifications were applied using the land use and vegetation map, Series I, from INEGI (INEGI, 1992) for the classifications of 1986 and 1994. For the classification of 2021, 234 land use and vegetation sam-

zonas núcleo que abarcan 29 720 ha, y su zona de amortiguamiento tiene una extensión de 125 401 ha (Quintanar Ashley, 2015). Pertenece a la provincia fisiográfica Llanura Costera del Golfo (INEGI, 2001).

Las unidades climáticas de esta ANP son cálido húmedo y semicálido húmedo (INEGI, 2021). La temperatura media anual oscila entre 20 y 24°C, con una evaporación de 1 200 mm (INEGI, 2007, 2021). La precipitación media anual varía entre 2 500 y 4 500 mm (INEGI, 2021). Además, cuenta con 3 300.38 ha de humedales y presenta humedad en el suelo durante 10 a 12 meses del año (INEGI, 2012). Los suelos característicos de esta área son Acrisol, Feozem, Litosol, Luvisol y Vertisol (INEGI, 2014). En cuanto a la composición de uso de la tierra, se estima que un 60 % es de uso agropecuario degradado, un 11.39 % acahual, y un 27 % corresponde a bosque mesófilo de montaña y selva (Vega-Vela et al., 2018).

Cambio de uso de suelo y vegetación

Se consideraron tres imágenes de satélite del sitio United States Geological Survey, USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), correspondiente a los años 1986, 1994 y 2021. Los datos de toma aparecen en el Cuadro 1. Además, se realizaron correcciones atmosféricas con el módulo Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) del programa QGIS 3.16 (QGIS Development Team, 2021), que utiliza el algoritmo Dark Object Subtraction (DOS) para la corrección atmosférica de imágenes satelitales.

También se homogeneizó el tamaño de píxel de la imagen Sentinel 2 a 30 m. Posteriormente, se aplicaron clasificaciones supervisadas utilizando como referencia la carta de uso de suelo y vegetación Serie I del INE-

Table 1. Satellite image Data used
Cuadro 1. Datos de imágenes de satélite utilizadas

Date / Fecha	Satellite / Satélite	Sensor	Pixel size / Tamaño de píxel	Bands used / Bandas utilizadas
18/03/1986	LANDSAT 5	TM (Thematic Mapper)	30 m	Bands 1, 2, 3 / Bandas 1, 2, 3
24/03/1994	LANDSAT 5	TM (Thematic Mapper)	30 m	Bands 1, 2, 3 / Bandas 1, 2, 3
11/04/2021	Sentinel-2A	MSI (Multispectral Instrument)	10 m	Bands 2, 3, 4 / Bandas 2, 3, 4

pling points were employed, recorded in the field from May 14 to 28, 2021, in collaboration with technicians from the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas. These points covered a total area of 936 m², and the INEGI Series VII land use and vegetation map (INEGI, 2018) was also used.

The classification process was carried out using a supervised approach, applying the Maximum Likelihood algorithm. The Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) for QGIS was used. To ensure the representativeness of the data, the training area corresponded to 15 % of the total area of the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas.

The years 1986, 1994, and 2021 were selected because they corresponded to satellite images with less than 5% cloud cover, ensuring better visual quality and minimizing the need for atmospheric and radiometric corrections. After the supervised classifications, the area in hectares for each land use class in 1986, 1994, and 2021 was identified (land uses: forest, grassland-agriculture, and water bodies). The change rate was also calculated using the formula from Velázquez et al. (2002):

$$S_n = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^{1/n} - 1,$$

where S_n is the rate of land use change, S_1 is the area at the first date considered, S_2 is the surface on the second date, and n is the number of years between the dates considered.

To identify changes on a map, the IDRISI TERRSET program (Eastman, 2016) was implemented, specifically using the CROSSTAB command, which performs a cross-tabulation. This command assigns a unique value to each class combination, and at the end, it presents a map of combinations along with the proportion of each combination on a scale from 0 to 1.

Method for determining land use and vegetation change trends

Markov chains are used to model and predict how different land use categories are likely to change over time (Reynoso Santos et al., 2016). By analyzing the transitions between different types of use, transition matrices can be established, which reflect the probabilities of change from one category to another at specific time intervals (Palomeque de la Cruz, 2017).

GI (INEGI, 1992) para las clasificaciones de 1986 y 1994. Para la clasificación de 2021, se emplearon 234 puntos de muestreo de uso de suelo y vegetación, registrados en campo del 14 al 28 de mayo de 2021, con el apoyo de técnicos de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas. Estos puntos abarcaron un área total de 936 m², así que también se empleó la carta de uso de suelo y vegetación de INEGI serie VII (INEGI, 2018).

El proceso de clasificación se llevó a cabo mediante un enfoque supervisado, aplicando el algoritmo de Máxima Verosimilitud. Se utilizó el complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) de QGIS. Para garantizar la representatividad de los datos, la superficie de entrenamiento correspondió al 15 % del área total de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas.

Los años 1986, 1994 y 2021 fueron seleccionados porque correspondían a imágenes satelitales disponibles con menos del 5 % de nubosidad, lo que garantiza una mejor calidad visual y minimiza la necesidad de correcciones atmosféricas y radiométricas. Después de las clasificaciones supervisadas se identificó la superficie en hectáreas por clases de uso de suelo de los años 1986, 1994 y 2021 (usos de suelo: Forestal, Pastizal-Agrícola y Cuerpos de agua). También se obtuvo la tasa de cambio con la fórmula de Velázquez et al. (2002):

$$S_n = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^{1/n} - 1,$$

donde S_n es la tasa de cambio de uso de suelo, S_1 es la superficie en la primera fecha considerada, S_2 es la superficie en la segunda fecha, y n es el número de años entre las fechas consideradas.

Para identificar los cambios en un mapa se implementó el programa IDRISI TERRSET (Eastman, 2016), en particular usando el comando CROSSTAB, el cual implementa una tabulación cruzada, donde asigna un valor único a cada combinación de clases, al final se presenta un mapa de combinaciones y la proporción de cada combinación en escala de 0 a 1.

Método para obtener la tendencia de cambio de uso de suelo y vegetación

Las cadenas de Markov se utilizan para modelar y predecir cómo es probable que las diferentes categorías de uso de suelo cambien con el tiempo (Reynoso Santos et al., 2016). Al analizar las transiciones

From land use and vegetation cover data from 1994 and 2021, the 2022 transition matrix was obtained (representing the probability of change from one land use class to another), with a 5 % error margin. For this purpose, the IDRISI TERREST program (Eastman, 2016) was implemented, using the MARKOV module. The Markov chain model is a stochastic land-use model based on regression analysis (Purswani et al., 2022).

A key aspect of this process is the description of land use and vegetation classes. The forestry category has the largest coverage, which makes all the classes spectrally distinct, thus reducing confusion between them. Additionally, an important requirement in the Markov chain process is that the same classes must be present in both years of analysis.

Class 1. Forest includes various types of vegetation formations such as secondary vegetation, coffee plantations, rainforests, cloud forests, oak forests, pine forests, and mangroves.

Class 2. Water body also referred to as “water” includes small water bodies and the Sontecomapan Lagoon.

Class 3. Grassland-Agriculture also referred to as “grass” consists of areas designated for agricultural production and grassland (both natural and induced).

Once the transition matrix for 2022 was obtained, transition probabilities, land use and vegetation predictions for the years 2030, 2035, 2040, 2045, and 2050 were estimated, along with the stationary distribution of land use. The aforementioned dates allow for the evaluation of landscape evolution at strategic intervals, identifying trends and projecting environmental impacts. These periods can be linked to land use planning and sustainability policies

The stationary distribution or steady-state analysis aids in predicting the future land use distribution by assuming equilibrium in the rates of change. This approach is useful for identifying dominant trends and forecasting the final state of the territory, which is crucial for resource planning and management.

To analyze the transition probabilities, the land use prediction was implemented using “The markovchain Package: A Package for Easily Handling Discrete Markov Chains in R” by Spedicato et al. (2018). These authors provide a guide on using Markov

entre distintos tipos de uso, se pueden establecer matrices de transición que reflejan las probabilidades de cambio de una categoría a otra en intervalos de tiempo específicos (Palomeque de la Cruz, 2017).

A partir de las coberturas de uso de suelo y vegetación de los años 1994 y 2021 se obtuvo la matriz de transición del año 2022 (probabilidad de cambio de una clase de uso de suelo a otra), con un error del 5 %. Para este objetivo se implementó el programa IDRISI TERREST (Eastman, 2016), que utilizó el módulo MARKOV. El modelo de cadenas de Markov es un modelo estocástico de uso de la tierra estadístico basado en la regresión (Purswani et al., 2022).

Un aspecto clave de este proceso es la descripción de las clases de uso de suelo y vegetación. La categoría de uso forestal posee la mayor cobertura, así todas las clases contrastan espectralmente, lo que reduce la confusión entre ellas. Además, un requisito importante en el proceso de cadenas de Markov es que se deben tener las mismas clases en los dos años de análisis.

Clase 1. Forestal, referida también como “bosque”, incluye diversas formaciones vegetales como acahuales, cafetales, selvas, bosques mesófilos de montaña, bosques de encino, pino y manglares.

Clase 2. Cuerpos de agua, referida como “agua”, contiene pequeños cuerpos de agua y la Laguna de Sontecomapan.

Clase 3. Pastizal-Agrícola también denominada “pasto”, comprende áreas destinadas a la producción agrícola y pastizales (naturales e inducidos).

Una vez obtenida la matriz de transición para el año 2022, se estimaron las probabilidades de transición, la predicción de uso de suelo y vegetación para los años 2030, 2035, 2040, 2045, y 2050, además de la distribución estacionaria de uso de suelo. Las fechas antes mencionadas permiten evaluar la evolución del paisaje en intervalos estratégicos, identificando tendencias y proyectando impactos ambientales. Estos periodos pueden vincularse a planes de ordenamiento territorial y políticas de sostenibilidad.

La distribución estacionaria o el análisis del estado estacionario permite estimar la distribución futura del uso de suelo asumiendo un equilibrio en las tasas de cambio. Esto ayuda a identificar tendencias dominantes y prever el estado final del territorio, siendo clave para la planificación y gestión de recursos.

chains in the R statistical package with the markov-chain package.

Thus, two key pieces of data required to compile the code in the R package are the transition matrix for the year 2022 (Table 2) and the initial state of the Markov chain (the probability of each land use and vegetation cover in 2021), as shown in Table 3.

Method for identifying changes in landscape structure

At this stage, a systematic sampling method was applied, selecting 89 spatial sampling units (SU), as shown in Figure 2. Each unit was circular, with a radius of 2 000 meters, covering an area of 1 256.64 hectares. The sample covered 69 % of the territory of the PNA.

The Fragstats program (McGarigal et al., 2012) was used to calculate 13 landscape structure metrics: area percentage (forest and grassland), patch number (forest and grassland), patch density (forest and

Para analizar las probabilidades de transición, la predicción de uso de suelo se implementó "The markovchain Package: A Package for Easily Handling Discrete Markov Chains in R" de Spedicato et al. (2018). Estos autores proporcionan una guía sobre el uso de cadenas de Markov en el paquete estadístico R con el paquete *markovchain*.

Así, dos datos importantes para compilar el código en el paquete R son la matriz de transición del año 2022 (Cuadro 2) y el estado inicial de la cadena de Markov (probabilidad de cada cobertura de uso de suelo y vegetación del año 2021), ver Cuadro 3.

Método para identificar cambios en la estructura del paisaje

En esta etapa se aplicó un muestreo sistemático, seleccionando 89 unidades de muestreo espacial (UM), ver Figura 2, de forma circular con radio de 2 000 m cada uno con 1 256.64 ha. La muestra cubrió el 69 % del territorio del ANP.

Table 2. Transition Matrix of Land Use and Vegetation for 2022
Cuadro 2. Matriz de transición de uso de suelo y vegetación del año 2022

Land use class / Clase de uso de suelo	1-Forest / 1-Forestal	2-Water body / 2-Agua	3-Grassland / 3-Pastizal
1-Forest / 1-Forestal	0.8928	0.0046	0.1026
2-Water / 2-Agua	0.0551	0.9449	0
3-Grassland / 3-Pastizal	0.1237	0	0.8763

Source: Compiled by the author

Fuente: Elaboración propia

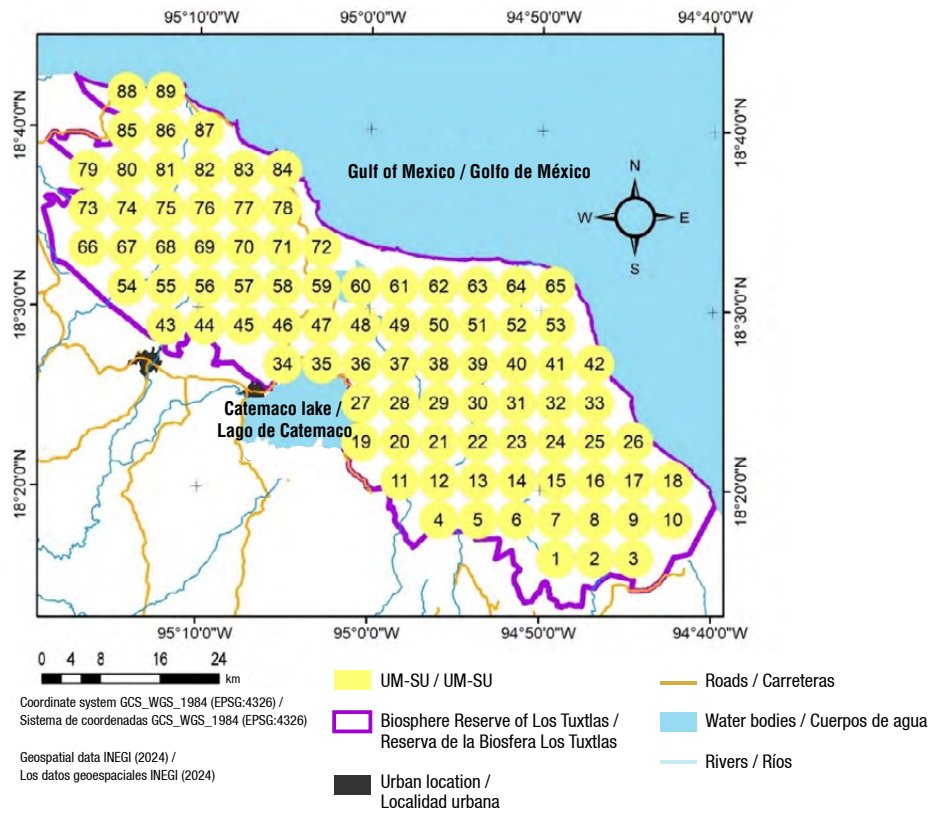
Table 3. Initial state of the Markov chain in the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas
Cuadro 3. Estado inicial de la cadena de Markov en la RBLT

Land use class / Clase de uso de suelo	Area probability / Probabilidad de superficie
1-Forest / 1-Forestal	0.52
2-Water / 2-Agua	0.07
3-Grassland / 3-Pastizal	0.41

Source: Compiled by the author

Fuente: Elaboración propia

Figure 2. Sampling units
Figura 2. Unidades de muestreo



Fuente: Elaboración propia
Source: Compiled by the author

grassland), average Euclidean distance to the nearest neighbor (forest and grassland), shape index (forest and grassland), forest contiguity index, and aggregation index (forest and grassland) (see Appendix 1).

These metrics were obtained for the 89 sampling units, considering the years 1986, 1994, and 2021. To identify significant differences between the metric data for each year, statistical tests such as the Shapiro-Wilk normality test, variance homogeneity test, and Kruskal-Wallis test were applied. The statistical analysis was performed using the RStudio and INFOSTAT programs (RStudio Team, 2021; Di Rienzo et al, 2015).

Results

Vegetation and land use change

Land use and vegetation composition in the BRLT (the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas) was as fol-

Se utilizó el programa Fragstats (McGarigal et al., 2012) para calcular 13 métricas de la estructura del paisaje: porcentaje de área (bosque y pasto), número de parches (bosque y pasto), densidad de parches (bosque y pasto), promedio de la distancia euclidiana al vecino más cercano (bosque y pasto), índice de forma (bosque y pasto), índice de contigüidad del bosque e índice de agregación (bosque y pasto) (ver Anexo 1).

Se obtuvieron dichas métricas para las 89 unidades de muestreo considerando los años 1986, 1994 y 2021. Con el fin de identificar diferencias significativas entre los datos de las métricas por cada año, se aplicaron pruebas estadísticas como la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, prueba de homogeneidad de varianzas y pruebas de Kruskal-Wallis. Para llevar a cabo este análisis estadístico se utilizaron los programas RStudio e INFOSTAT (RStudio Team, 2021; Di Rienzo et al, 2015).

lows: in 1986, 55.77 % corresponded to forest cover, 43.53 % to grassland-agricultural areas, and 0.70 % to bodies of water. By 1994, forest cover had decreased to 48.26 %, while grassland-agricultural areas increased to 51.13 %, and bodies of water dropped to 0.61 %. In 2021, forest cover partially recovered, reaching 52.05 %, grassland-agricultural areas decreased to 47.25 %, and bodies of water represented 0.69 %. Figure 3 shows the maps resulting from the supervised classifications in the BRLT for the years 1986, 1994, and 2021. From the analysis, the following trends can be identified. In 1986, the forest area was 86 512 ha, decreasing to 74 862 ha in 1994, indicating a loss of forests during that period. However, by 2021, the forest area had increased to 80 741 ha, suggesting a partial recovery. The water area remained stable between 1986 and 2021, with 1 086 ha, except in 1994 when it decreased to 946 ha. This temporary reduction could be attributed to factors such as climatic variations or changes in land use. However, no scientific references were found reporting a reduction in the surface area of Catemaco lake and the bodies of water in the biosphere reserve.

In 1986, the area designated for this category was 67 525 ha. By 1994, it had increased to 79 314 ha, which coincided with the reduction of forest cover during that period. In 2021, this area decreased to 73 295 ha, in parallel with the recovery of forest cover, which may indicate reforestation processes or agricultural land abandonment.

Land use change rates

During the period from 1986 to 2021, a reduction in forest cover was observed, with a loss of $164.87 \text{ ha}\cdot\text{yr}^{-1}$, corresponding to a change rate of $-0.19 \text{ }\% \cdot \text{yr}^{-1}$. In contrast, the grassland-agricultural area increased, showing a change rate of $0.23 \text{ }\% \cdot \text{yr}^{-1}$, equivalent to $164.87 \text{ ha}\cdot\text{yr}^{-1}$.

Table 4 shows the land use change rates (S_n). From 1986 to 1994, the forest area also decreased, with a rate of $-1.79\% \cdot \text{yr}^{-1}$, while the grassland-agricultural class increased with $S_n = 2.03\% \cdot \text{yr}^{-1}$. On the other hand, between 1994 and 2021, the change rate of forest cover was positive ($S_n = 0.28 \text{ }\% \cdot \text{yr}^{-1}$), indicating a recovery of 5 879 ha during that period. It is ob-

Resultados

Cambio de uso de suelo y vegetación

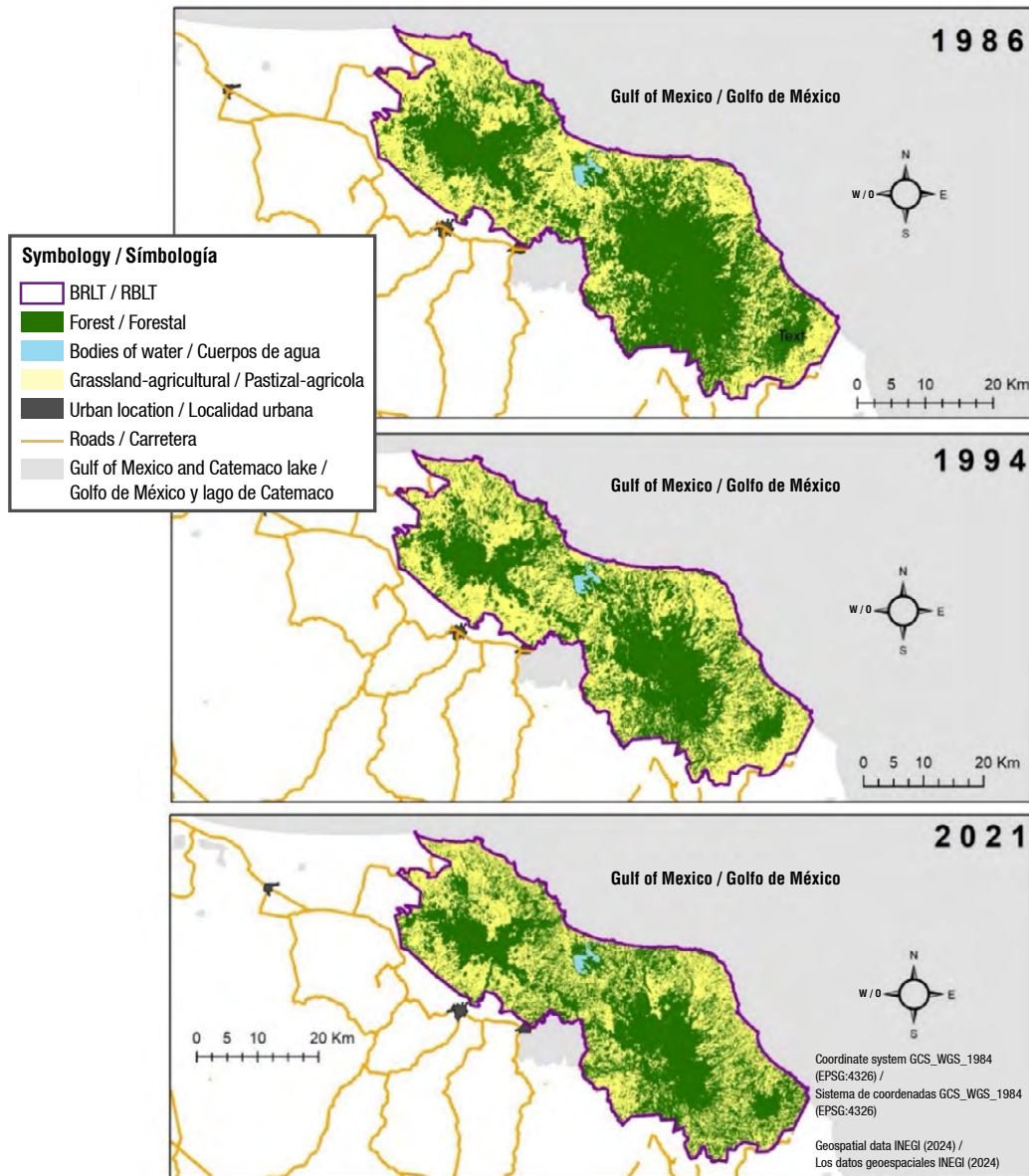
La composición del uso de suelo y vegetación en la RBLT fue la siguiente: en 1986, el 55.77 % correspondía a cobertura forestal, el 43.53 % a pastizal-agrícola y el 0.70 % a cuerpos de agua. Para 1994, la cobertura forestal se redujo al 48.26 %, mientras que el pastizal-agrícola aumentó al 51.13 %, y los cuerpos de agua disminuyeron al 0.61 %. En 2021, la superficie forestal se recuperó parcialmente, alcanzando el 52.05 %, el pastizal-agrícola se redujo al 47.25 %, y los cuerpos de agua representaron el 0.69 %. La Figura 3 presenta los mapas resultantes de las clasificaciones supervisadas en la RBLT durante los años 1986, 1994, y 2021, a partir de su análisis se pueden identificar las siguientes tendencias. En 1986, la superficie forestal era de 86 512 ha, disminuyendo a 74 862 ha en 1994, lo que indica una pérdida de bosques en ese periodo. Sin embargo, para 2021, la superficie forestal aumentó a 80 741 ha, lo que sugiere una recuperación parcial. La superficie de agua se mantuvo estable entre 1986 y 2021, con 1 086 ha, excepto en 1994, cuando se redujo a 946 ha. Esta reducción temporal podría deberse a factores como variaciones climáticas o modificaciones en el uso del suelo. Sin embargo, no se identificaron referencias científicas que reporten una reducción en la superficie del Lago de Catemaco y cuerpos de agua de la Reserva de la biosfera.

En 1986, la superficie destinada a esta categoría era de 67 525 ha. Para 1994, aumentó a 79 314 ha, lo que coincide con la reducción de la cobertura forestal en ese periodo. En 2021, esta superficie se redujo a 73 295 ha, en paralelo con la recuperación de la cobertura forestal, lo que podría indicar procesos de reforestación o abandono de tierras agrícolas.

Tasas de cambio de uso de suelo

Durante el periodo de 1986 a 2021, se observó una reducción en la cobertura forestal, con una pérdida de $164.87 \text{ ha}\cdot\text{año}^{-1}$, lo que equivale a una tasa de cambio de $-0.19 \text{ }\% \cdot \text{año}^{-1}$. Paralelamente, la superficie de pastizal-agrícola presentó un incremento con una tasa de cambio de $0.23 \text{ }\% \cdot \text{año}^{-1}$, equivalente a $164.87 \text{ ha}\cdot\text{año}^{-1}$.

Figure 3. Land use and vegetation in the biosphere reserve
Figura 3. Uso de suelo y vegetación en la reserva de la biosfera



Source: Compiled by the author
 Fuente: Elaboración propia

served that the land use change rate of the grassland-agricultural class decreased during the period from 1994 to 2021 but increased from 1986 to 2021.

Land use change maps

Figure 4 shows changes in land use and vegetation cover. Areas that underwent a conversion from forest to grassland-agricultural use are shown in red, while those that changed from grassland-agricultural use

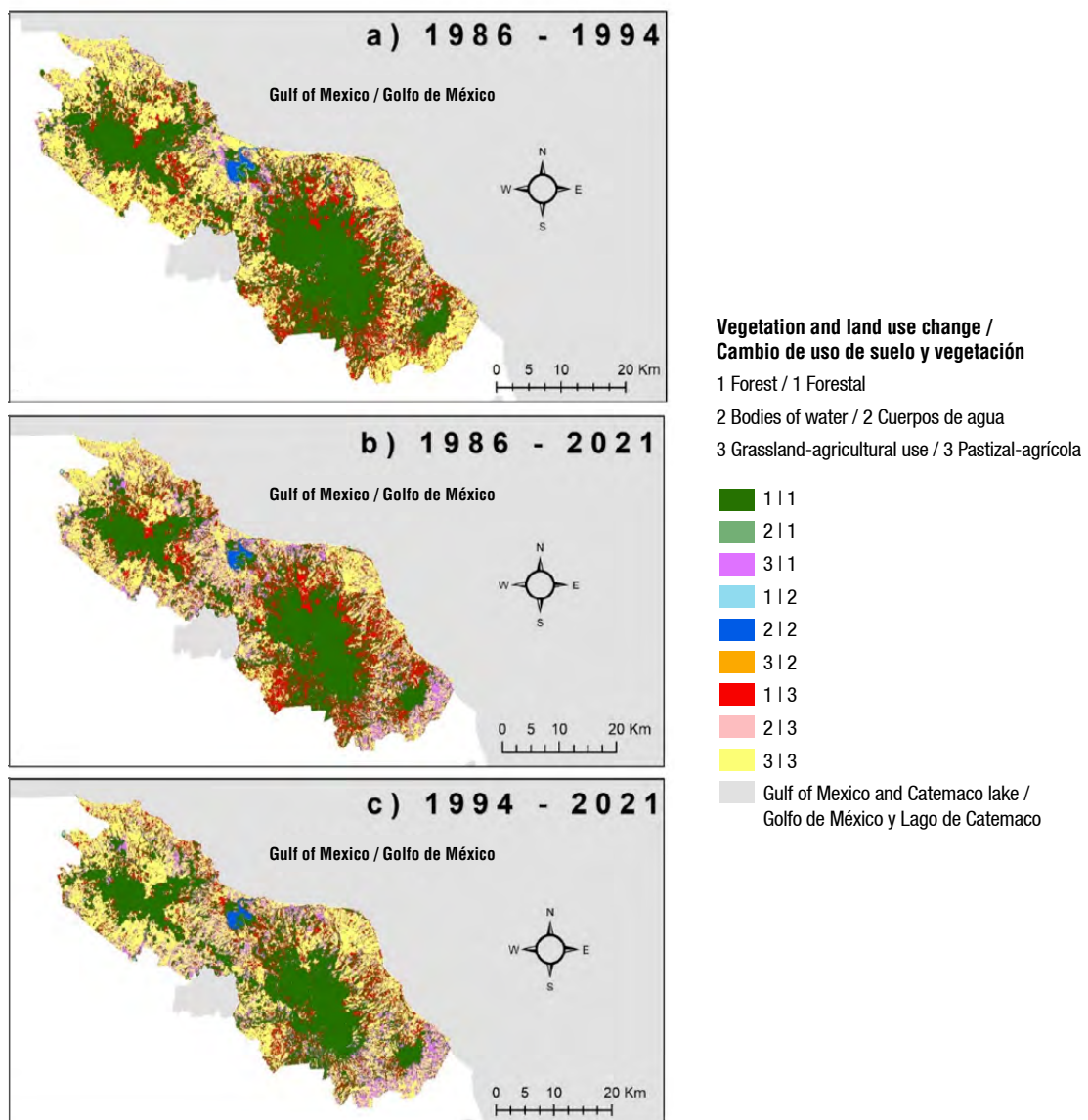
El Cuadro 4 muestra las tasas de cambio de uso de suelo (S_n). En el periodo de 1986 a 1994, la superficie forestal también disminuyó, con una tasa de $-1.79 \text{ \%}\cdot\text{año}^{-1}$, mientras que la clase pastizal-agrícola presentó un incremento con $S_n = 2.03 \text{ \%}\cdot\text{año}^{-1}$. Por otro lado, entre 1994 y 2021, la tasa de cambio de la cobertura forestal fue positiva ($S_n = 0.28 \text{ \%}\cdot\text{año}^{-1}$), lo que indica una recuperación de 5 879 ha en dicho periodo. Se observa que, la tasa de cambio de uso de

Table 4. Land use change rates (expressed as percentage per year) for the study area.
Cuadro 4. Tasas de cambio (expresado en porcentaje por año) de uso de suelo del área de estudio

Class / Clase	1986-1994	1994-2021	1986-2021
1 - Forest / 1 - Forestal	-1.79	0.28	-0.19
2 - Water / 2 - Agua	-1.71	0.51	0.00
3 - Grassland / 3 - Pastizal	2.03	-0.29	0.23

Source: Compiled by the author
 Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Mapas de cambio de uso de suelo
Figure 4. Land use change maps



Fuente: Elaboración propia
 Source: Compiled by the author

to forest are indicated in purple. Areas that remained with grassland-agricultural use are represented in yellow, those that maintained their forest cover are in green, and bodies of water are shown in dark blue.

Between 1986 and 2021, the forested area decreased by 5 771 ha, as seen in red on the land use change map for the period 1986 - 2021 (Figure 4, b). The purple areas indicate an increase of 5 771 ha in grassland-agricultural use. For the period 1994 - 2021, the forest area increased by 5 879 ha, while the grassland-agricultural area decreased by 6 019 ha (Figure 4, c). From 1986 to 1994, 11 650 ha of forested land were lost, most of which were converted to grassland-agricultural use (which increased by 11 789 ha). This period marked the greatest loss of forested areas (Figure 4, a).

Land use change trend in the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas

The transition diagrams represent the evolution of land use in the BRLT for the years 2030, 2035, 2040, 2045, and 2050 (Figure 5), regarding forest cover, grassland-agricultural use (grass), and bodies of water (water). Throughout the analyzed period, it is observed that forest cover shows a tendency to remain relatively stable, with a probability of persistence ranging from 0.53 to 0.59. However, there is a significant probability of conversion to grassland-agricultural use, varying between 0.47 and 0.53, indicating that deforestation remains an active process in the region

The grassland-agricultural use experiences a notable expansion between 2030 and 2035 (with a probability ranging from 0.47 to 0.52), reflecting a conversion of forested areas. However, after 2040, the probability of these areas returning to forest condition increases, suggesting that ecological restoration or agricultural land abandonment could be favoring the regeneration of vegetation. By 2050, a trend toward stabilization is observed, with a possible balance between conversion and the recovery of forested areas.

On the other hand, bodies of water show a low probability of change, with values below 0.04, indicating that their extent remains relatively stable. However, their probability of remaining as water ranges from 0.23 to 0.64, suggesting some vulnerability to transformations, possibly due to hydrologi-

suelo de la clase pastizal-agrícola fue decreciente en el periodo 1994 - 2021, pero creciente para el periodo 1986 - 2021.

Mapas de cambio de uso de suelo

La Figura 4 representa los cambios en el uso de suelo y la cobertura vegetal. Las áreas que experimentaron una conversión de forestal a pastizal-agrícola se muestran en rojo, mientras que aquellas que cambiaron de pastizal-agrícola a forestal se indican en morado. Las superficies que permanecieron como pastizal-agrícola se representan en amarillo, las que conservaron su cobertura forestal en verde, y los cuerpos de agua en azul fuerte.

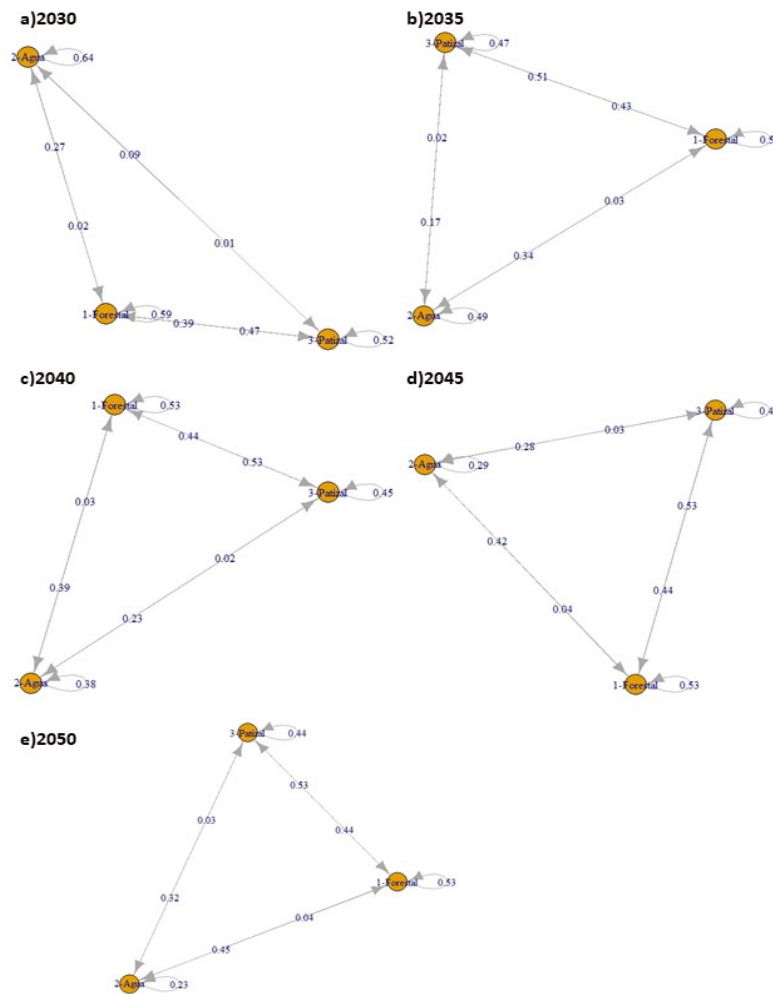
En el periodo 1986 - 2021 la superficie forestal disminuyó 5 771 ha, como se aprecia en color rojo en el mapa de cambio de uso de suelo periodo 1986 - 2021 (Figura 4, b). También se observa en color morado un incremento de la superficie pastizal-agrícola en 5 771 ha. Para el periodo 1994 - 2021, el área forestal incrementó 5 879 ha, mientras que el pastizal-agrícola disminuyó 6 019 ha (Figura 4, c). En el periodo 1986 - 1994 se perdieron 11 650 ha de uso forestal, en su mayoría cambiaron al uso de pastizal-agrícola (que tuvo 11 789 ha). Este fue el periodo en el que se detectó la mayor pérdida de superficie forestal (Figura 4, a).

Tendencia de cambio de uso de suelo de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas

Los diagramas de transición representan la evolución del uso de suelo en la RBLT para los años 2030, 2035, 2040, 2045 y 2050 (Figura 5), considerando las clases de cobertura forestal, pastizal-agrícola (pasto), y cuerpos de agua (agua). A lo largo del periodo analizado, se observa que la cobertura forestal muestra una tendencia a mantenerse relativamente estable, con una probabilidad de permanencia que oscila entre 0.53 y 0.59. Sin embargo, existe una probabilidad significativa de conversión a pastizal-agrícola, que varía entre 0.47 y 0.53, lo que indica que la deforestación sigue siendo un proceso activo en la región.

El uso pastizal-agrícola experimenta una expansión notable entre 2030 y 2035, (con una probabilidad que oscila ente 0.47 y 0.52), reflejando una conversión de áreas forestales. No obstante, a partir de 2040, incrementa la probabilidad de que estas su-

Figure 5. Transition probabilities
Figura 5. Probabilidades de transición



Source: Compiled by the author
 Fuente: Elaboración propia

cal processes, sedimentation, or changes in the surrounding land use.

Land use estimates and steady-state in Markov chain

The rate of forest area recovery is low ($S_n = 0.28$ for 1994–2021). Therefore, by 2050, it is estimated that only 52 % of PNA will remain forested. However, forest cover has been the dominant land use since 1986, and it is projected to remain dominant between 2030 and 2050. Table 5 presents the land use predictions for PNA.

perfiles regresen a su condición forestal, lo que sugiere que la restauración ecológica o el abandono de tierras agrícolas podrían estar favoreciendo la regeneración de la vegetación. Para 2050, se observa una tendencia hacia la estabilización, con un posible equilibrio entre la conversión y la recuperación de áreas forestales.

Por otro lado, los cuerpos de agua presentan baja probabilidad de cambio, con valores menores a 0.04, lo que indica que su extensión es relativamente estable. Sin embargo, su probabilidad de permanecer como agua oscila entre 0.23 y 0.64, lo que sugiere

Table 5. Predicting the probability of land use in the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas
Cuadro 5. Predicción de la probabilidad de uso de suelo de la reserva de la biosfera Los Tuxtlas

Year / Año	1-Forest / 1-Forestal	2-Water / 2-Agua	3-Grassland / 3-Pastizal
2030	0.5171	0.0602	0.4225
2035	0.5181	0.0560	0.4258
2040	0.5191	0.0528	0.4279
2045	0.5200	0.0505	0.4293
2050	0.5207	0.0487	0.4304

Source: Compiled by the author

Fuente: Elaboración propia

On the other hand, the stationary distribution of a Markov chain is a state of the statistical model in which, after multiple iterations, the Markov chain stops changing. Using the data obtained from the BRLT, it was found that the stationary state consists of 52.27 % forest use, 4.35 % water bodies, and 43.35 % grassland-agriculture. Note that this stationary state does not recover the 55.77 % forest use that was present in 1986. Therefore, to counteract habitat loss and fragmentation, it is necessary to restore forested areas and improve habitat connectivity.

Changes in landscape structure in 1986, 1994, and 2021

The landscape structure metrics were statistically analyzed by sampling units. The data obtained from the metrics was not normally distributed. Therefore, Kruskal-Wallis tests were applied to identify significant differences.

The results for each of the metrics considered are presented below.

Metric 1: Forest area percentage (PLAND.Forest)

No significant differences were found in this metric. The sampling units from the three years of analysis had minimum forest area values ranging from 4 to 14 % and maximum values ranging from 97 to 99 %. The average values were between 48 and 52 %, and the coefficients of variation for the data ranged from 40.66 to 47.84, which are considered intermediate according to the quartile scale.

cierta vulnerabilidad a transformaciones, posiblemente derivadas de procesos hidrológicos, sedimentación o cambios en el uso de suelo circundante.

Predicciones de uso de suelo y estado estacionario de la cadena de Markov

La tasa de recuperación de la superficie forestal es baja ($S_n=0.28$ para 1994 - 2021), por lo que para el año 2050 se estima que solo el 52 % del ANP será forestal, sin embargo, es la cobertura que se ha mantenido dominante desde 1986, se estima que se mantendrá en el periodo 2030 - 2050. El Cuadro 5 presenta la predicción de uso de suelo del ANP.

Por otro lado, la distribución estacionaria de una cadena de Markov es un estado del modelo estadístico en el cual después de múltiples iteraciones la cadena de Markov deja de tener cambios. Con los datos obtenidos de la RBLT se encontró que, el estado estacionario es: 52.27 % de uso forestal, 4.35 % de cuerpos de agua, y 43.35 % de Pastizal-agrícola. Note, que este estado estacionario no alcanza a recuperar el 55.77 % de uso forestal que se tenía en 1986, por lo que, para contrarrestar la pérdida de hábitat y fragmentación, se requiere recuperar la superficie forestal y mejorar la conectividad del hábitat.

Cambios en la estructura del paisaje en los años 1986, 1994 y 2021

Se analizaron estadísticamente las métricas de la estructura del paisaje por unidades de muestreo. Los datos obtenidos de las métricas no presentaron

Metric 2: Grass area percentage (PLAND.Grass)

No significant differences were found in the grass area percentage. The average value ranged from 46 to 51 % of the SU area, with minimum values ranging from 0.89 to 2.57 % and maximum values from 85 to 94 %. The standard deviation ranged from 21 to 24 %, and the coefficient of variation was intermediate (ranging from 45 to 52). It was observed that as the forest area percentage increased, the grass area percentage decreased, and vice versa.

Metrics 3 and 4: Number of patches (NP):

Forest and grass

Significant differences were found in the number of patches for the three years, with an increase in the number of patches for both grass and forest. The average number of forest patches was 78 in 1986, 98 in 1994, and 859 in 2021. The average number of grass patches per sampling unit was 51 in 1986, 64 in 1994, and 706 in 2021.

Metrics 5 and 6: Density of patches (PD):

Forest and grass

Significant differences were found in these two metrics. For forest patch density, there was an increase over the three years of analysis (PD.Forest 1986 = 5.81 patches per 100 ha, PD.Forest 1994 = 8.59 patches $\times 10^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, and PD.Forest 2021 = 68.35 patches $\times 10^2 \cdot \text{ha}^{-1}$).

The average patch density for grass was 4.22 and 5.27 for the years 1986 and 1994, respectively; while in 2021, it was 58.09 patches per 100 ha, which is significantly different from the years 1986 and 1994.

Metric 7: Average Euclidean distance to the nearest forest neighbor (ENN_MN.Forest)

Significant differences were found in the data for the average Euclidean distance to the nearest forest neighbor. Two distinct groups were identified: the first group, corresponding to 2021, showed a median distance of 23 meters, while the second group, corresponding to 1994 and 1986, had a higher median distance from 40 to 42 meters. Therefore, in 2021, there was a reduction in structural isolation.

distribución normal. Por lo que se aplicaron pruebas de Kruskal Wallis para identificar diferencias significativas.

A continuación, se presentan los resultados de cada una de las métricas consideradas.

Métrica 1: Porcentaje de área del bosque (PLAND.Bosque)

No se encontraron diferencias significativas en esta métrica. Las unidades de muestreo de los tres años de análisis obtuvieron valores mínimos de 4 a 14 % de área de bosque y valores máximos de 97 a 99 %. Los valores promedio se localizaron entre 48 a 52 %, y se obtuvieron coeficientes de variación de los datos de 40.66 a 47.84, que se consideran intermedios de acuerdo con la escala de cuartil.

Métrica 2: Porcentaje de área del pasto (PLAND.Pasto)

No se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de área del pasto. Su valor promedio osciló de 46 a 51 % del área de las UM, con mínimos que van de 0.89 a 2.57 % y máximos de 85 a 94%, una desviación estándar de 21 a 24 % y coeficiente de variación intermedio (de 45 a 52). Se observó que cuando se incrementa el porcentaje de área del bosque, se reduce el porcentaje de área del pasto y viceversa.

Métricas 3 y 4: Número de parches (NP):

Bosque y Pasto

Se encontraron diferencias significativas en el número de parches para los tres años, observándose un incremento en el número de parches del pasto y del bosque. El número promedio de parches del bosque es de 78 para 1986, 98 para 1994, y 859 parches en 2021. El número promedio de parches por UM del pasto fueron 51 en 1986, 64 en 1994, y 706 en 2021.

Métricas 5 y 6: Densidad de parches (PD):

Bosque y Pasto

Se encontraron diferencias significativas en estas dos métricas. En la densidad de parches del bosque se observa un crecimiento a través de los 3 años de análisis (PD.Bosque 1986 = 5.81 parches por cada

Metric 8: Average Euclidean distance to the nearest grass Neighbor (ENN_MN.Grass)

Significant differences were found in the medians for this metric. The year 2021 had a lower distance, with a median distance of 24 meters between grass patches, while the years 1994 and 1986 had medians around 41 meters.

Metrics 9 and 10: Shape index (SHAPE): Forest and grass

The shape index for both grass and forest has decreased according to the Kruskal-Wallis test (SHAPE.Forest 1986 = 1.43, SHAPE.Forest 2021 = 1.11, SHAPE.Grass 1986 = 1.46, SHAPE.Grass 2021 = 1.10). In both cases, a reduction in complexity and edge was observed.

Metric 11: Forest contiguity index (CONTIG_MN.Bosque)

Significant differences were found in the forest contiguity indices. The highest contiguity occurred in 1986, with a median of 0.70, followed by 0.58 in 1994, and the lowest contiguity was observed in 2021, with a median of 0.15. This indicates that the highest spatial connection was observed in 1986, with connectivity ranging from intermediate to high; in 1994, it decreased to intermediate connectivity, and by 2021, it was very low according to the quartile scale.

Metrics 12 and 13: Aggregation index (AI): Forest and grass

The average values of the aggregation index for the land use classes of forest and grass are high according to the quartile scale (AI.Forest and AI.Grass range from 89 to 96 %). However, according to the Kruskal-Wallis test, in 2021, the values were significantly lower, with an average aggregation index of 89%. Since the maximum aggregation index represents a compact form in a single patch, these data indicate the disaggregation of both forest and grass patches.

Discussion**Land use change in BRLT**

In this section, it was possible to verify that the data obtained was consistent with the information reported in the literature. Von Thaden et al. (2018) reported

100 ha, PD.Bosque 1994 = $8.59 \text{ parches} \times 10^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, y PD.Bosque 2021 = $68.35 \text{ parches} \times 10^2 \cdot \text{ha}^{-1}$).

El promedio de la densidad de parches del pasto fue de 4.22 y 5.27, para los años 1986 y 1994, respectivamente; mientras que el año 2021 obtuvo un promedio de 58.09 parches por cada 100 ha, y es significativamente diferente a los años 1986 y 1994.

Métrica 7: Promedio de la distancia euclidiana media al vecino más cercano del bosque (ENN_MN.Bosque)

Se encontraron diferencias significativas en los datos del promedio de la distancia euclidiana al vecino más cercano del bosque, se encontraron dos grupos diferentes, en el primer grupo —año 2021— se obtuvo una mediana de 23 metros de distancia, mientras que para el segundo grupo —años 1994 y 1986— una mayor mediana de 40 a 42 m. Así, en el año 2021 se obtuvo un menor aislamiento estructural.

Métrica 8: Promedio de la distancia euclidiana media al vecino más cercano de pasto (ENN_MN.Pasto)

Se encontraron diferencias significativas en las medianas de esta métrica. El año 2021 obtuvo menor distancia, con una mediana de la distancia de 24 m entre parches de pasto; mientras, que los años 1994 y 1986 sus medianas se encuentran alrededor de 41 m.

Métricas 9 y 10: Índice de forma (SHAPE): Bosque y Pasto

El índice de forma del pasto y del bosque se ha reducido de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis (SHAPE.Bosque 1986 = 1.43, SHAPE.Bosque 2021 = 1.11, SHAPE.Pasto 1986 = 1.46, SHAPE.Pasto 2021 = 1.10). En ambos casos se observa una reducción de la complejidad y del borde.

Métrica 11: Índice Contigüidad del Bosque (CONTIG_MN.Bosque)

Se encontraron diferencias significativas en los índices de contigüidad del bosque, la mayor contigüidad fue en el año 1986 con mediana de 0.70, seguida por 0.58 en 1994, y la menor contigüidad se obtuvo en 2021 con 0.15. Esto indica que la mayor conexión espacial se observó en el año de 1986, una conectividad de intermedia a alta; para 1994 se redujo a una conectividad a intermedia, y para 2021 es muy baja de acuerdo a la escala de cuartil.

that the forest cover in this PNA was 85 830 ha (55 %) in 1986. This figure is similar to the 55.77 % forest cover found in this study for the same year. The same authors reported that in 1998, forest cover had decreased to 41 %, which implies a land use change of $-1\ 809\ \text{ha}\cdot\text{yr}^{-1}$ for 1986-1998. This figure is higher than the $-1\ 454\ \text{ha}\cdot\text{year}^{-1}$ found in this study for 1986-1994, with the difference likely due to the variation in the analysis periods.

Guevara et al. (2004) mentioned that in 1972, forest cover in Los Tuxtlas was 56 %, while in 1986, according to this study, it was reported as 55.77 %. This difference of only 0.23% indicates a low variation in the data according to the quartile scale.

Von Thaden et al. (2020), reported that the forest cover in this PNA was 65 495 ha (42 %) in 2016, a figure that contrasts with the 52 % found in this study for 2021. However, this recovery in forest cover may be explained by the abandonment of management practices and the proliferation of secondary vegetation in evergreen rainforests (Galicia, 2016; Guevara et al., 2004).

Land use dynamics observed during 1986-2021 are consistent with the issues identified by Aguilar-Vásquez et al. (2014), who noted that BRLT is experiencing habitat fragmentation due to urban growth, the expansion of livestock farming, and deforestation. Another cause of deforestation in the Tuxtlas during the analysis period has been fires, according to Neger et al. (2021).

Palomeque de la Cruz et al. (2017) examined the uncontrolled periurbanization of Villahermosa, Tabasco, and their findings reveal similar trends to those observed in this study regarding land use dynamics in the region. Both studies highlight the loss of forest cover, which has been replaced by grasslands and agriculture. These similarities support the reliability of the models used and underscore the importance of implementing conservation and sustainable management strategies in the area.

According to Guevara et al. (2004), the majority of the population in the municipalities of San Andrés Tuxtla, Santiago Tuxtla, and Catemaco is mestizo. In contrast, the municipalities of Hueyapan de Ocampo, Mecayapan, Tatahuicapan, Pajapan, and Sotepan have a predominantly indigenous population belonging to the Nahua and Zoque-Popoluca eth-

Métricas 12 y 13: Índice de Agregación (AI):

Bosque y Pasto

Los valores promedio del índice de agregación de las clases de uso de suelo bosque y pasto son altos de acuerdo a la escala de cuartil (AI.Bosque y AI.Pasto que va de 89 a 96 %). Sin embargo, de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis en el año 2021 es significativamente menor, con un promedio del índice de agregación de 89 %. Considerando que el máximo índice de agregación es una forma compacta en un solo parche, estos datos indican la desagregación de los parches del bosque y del pasto.

Discusión

Cambio de uso de suelo de la RBLT

En este apartado fue posible verificar que los datos obtenidos fueran congruentes con la información reportada en la literatura. Von Thaden et al. (2018), reportaron que la cobertura forestal de esta ANP fue de 85 830 ha (55 %) en 1986. Este dato es similar al 55.77 % de cobertura forestal que se obtuvo en este trabajo, para el mismo año. Los mismos autores reportan que la cobertura forestal en 1998 ocupaba 41 %, lo que implica un cambio de uso de suelo de $-1\ 809\ \text{ha}\cdot\text{año}^{-1}$ para el periodo 1986 - 1998, cifra que es superior a la que encontró en este trabajo ($-1454\ \text{ha}\cdot\text{año}^{-1}$ para el periodo 1986 -1994), esta diferencia puede ser causada por la diferencia en el periodo de análisis.

Guevara et al. (2004) mencionan que en 1972 la cobertura forestal en Los Tuxtlas era del 56 %, mientras que, en 1986, según el presente trabajo, se reporta un 55.77 %. Esta diferencia de solo 0.23 % indica una baja variación de los datos según la escala de cuartil.

Von Thaden et al. (2020), reportaron que la cobertura forestal de dicha ANP fue de 65 495 ha (42 %) en 2016, cifra que contrasta con el 52 % que se obtuvo en este trabajo para el 2021; sin embargo, esta recuperación de la cobertura forestal puede tener explicación en el abandono de prácticas de manejo y a la proliferación de vegetación secundaria en selvas perennifolias (Galicia, 2016; Guevara et al., 2004).

La dinámica de uso de suelo observada en el periodo 1986 - 2021, es coherente con la problemática detectada por Aguilar-Vásquez et al. (2014), quienes

nic groups. Mestizos in these areas typically have a tradition of private property and livestock farming, while the indigenous population has been characterized by communal land ownership, with an economy primarily focused on subsistence agriculture and livestock.

Regarding land use trends based on Markov chains, it is observed that by 2035, forest cover will experience a loss in favor of grassland-agriculture. This information agrees with the forest loss prediction for 2025 made by Von Thaden et al. (2018). However, these authors identified forest loss during 2003-2011, which contrasts with the forest cover recovery observed in this study for 1994-2021.

Regarding changes in landscape structure, considering the PLAND metric (percentage of area), Vega-Vela et al. (2018) reported 44 % forest use and 54 % agricultural use for 1995. In contrast, this study found 48 % forest use and 51 % grassland (agricultural use) for 1994. Although these data are similar, this study found 52 % forest use and 46 % grassland for 2021, which contrasts with the 33 % forest use and 60 % agricultural use reported by Vega-Vela et al. (2018) for 2016. This discrepancy can be attributed to the higher resolution of the Sentinel2 satellite imagery used in the 2021 analysis, as well as the fact that FRAGSTATS, the software used in both studies to obtain landscape metrics, is sensitive to the scale of analysis (Li et al., 2001).

A reduction in the structural distance between both forest and grass patches was detected; however, White (2019) notes that the mean patch isolation is a measure of distribution, dispersion, or aggregation, rather than a measure of fragmentation.

There is a reduction in the complexity of patch shapes as well as the edge (with an average shape index of 1.10). A shape index of one corresponds to a square shape, and circular or square shapes are indicative of human land use activities, because naturally, simple shapes are rarely present (White, 2019).

The fact that no significant differences were detected in the forest area percentage metric suggests that forest cover has occupied between 48 and 52 % of the area during the years analyzed. According to the PLAND.Forest and AI.Forest metrics, in 1986, forests covered 52.26 % of the PNA, with an aggregation index of 96 %. In contrast, for 2021, the forest

indican que la RBLT experimenta fragmentación del hábitat por efecto del crecimiento urbano, la expansión de la ganadería, y la deforestación. Cabe mencionar que otra causa de la deforestación en los Tuxtlas en el periodo de análisis han sido los incendios de acuerdo con Neger et al. (2021).

Cabe mencionar que Palomeque de la Cruz et al. (2017) analizaron la periurbanización descontrolada de Villahermosa, Tabasco, su estudio muestra tendencias similares a las de este trabajo en cuanto a la dinámica del uso del suelo en la región. Ambos coinciden en señalar un proceso de pérdida de cobertura forestal en favor del pastizal y de la agricultura. Estas coincidencias refuerzan la validez de los modelos utilizados y resaltan la importancia de implementar estrategias de conservación y manejo sustentable en la zona.

De acuerdo con Guevara et al. (2004), mencionan que la mayoría de la población en los municipios de San Andrés Tuxtla, Santiago Tuxtla y Catemaco es mestiza. En contraste, los municipios de Hueyapan de Ocampo, Mecayapan, Tatahuicapan, Pajapan, y Soteapan, tienen una población mayoritariamente indígena pertenecientes a las etnias nahua y zoquepopolucua, donde los mestizos suelen tener una tradición de propiedad privada y actividad ganadera, mientras que la población indígena se ha caracterizado por la propiedad comunal, con una economía centrada inicialmente en la agricultura y ganadería de subsistencia.

En cuanto a la tendencia del uso de suelo mediante cadenas de Markov, se observa que antes de 2035 la cobertura forestal tendrá una pérdida en favor del pastizal-agrícola. Esta información es coherente con la predicción de pérdida de superficie forestal para el año 2025 realizada por Von Thaden et al. (2018). Sin embargo, estos autores detectaron una pérdida de superficie forestal en el periodo 2003-2011, lo que contrasta con la recuperación de superficie forestal observada en el presente trabajo para el periodo 1994 - 2021.

Respecto a los cambios en la estructura del paisaje, considerando la métrica PLAND (porcentaje del área), Vega-Vela et al. (2018) reportó 44 % de uso forestal y 54 % de uso agropecuario para el año 1995. Mientras que en este trabajo se obtuvo 48 % de uso forestal y 51 % pasto (agropecuario), para el año 1994. Datos similares, sin embargo, en este trabajo

area percentage is 52.95 %, with an aggregation index of 89 %. This shows that between 1986 and 2021, there has been a disaggregation of forest patches. Additionally, the lowest spatial connection was detected, as indicated by the contiguity index, with an average value of 0.15, showing the dominance of single-pixel patches

From 1994 to 2021, there were increases in both forest cover and patch density. These new, small patches are vulnerable due to their low diversity and experience changes in their environmental conditions, according to the island biogeography theory. This theory also suggests that larger fragments have higher diversity, greater stability, and more resource richness (Liu et al., 2018).

An increase in the number and density of patches was found. According to White (2019), a consequence of fragmentation is the creation of many small patches, with increased complexity and amount of edge. It is important to mention that patch density in this study differs from the density reported by Vega-Vela et al. (2018), due to the difference in the years analyzed.

Recommendations for the conservation and restoration of the BRLT

It is essential to develop and implement ecological restoration plans that address both habitat loss and fragmentation, ensuring the recovery of ecosystems and landscape connectivity.

Sustainable land use policies should be strengthened and enforced to prevent the uncontrolled expansion of agricultural activities. Promoting production models compatible with ecosystem conservation, such as agroforestry systems, silvopastoral management, and regenerative agriculture practices, will help support biodiversity, soil health, and landscape resilience.

The creation and maintenance of biological corridors will facilitate species movement, helping to mitigate biodiversity loss and ensuring the provision of essential ecosystem services.

Although projections may indicate long-term stability in the BRLT, the absence of effective conservation strategies could lead to a gradual decline in ecological diversity.

se obtuvo 52 % de uso forestal y 46 % pasto para el año 2021, que contrasta con el 33 % de uso forestal y 60 % de uso agropecuario del año 2016 reportado por Vega-Vela et al. (2018). Este contraste en los datos se puede atribuir a la alta resolución de la imagen de satélite tipo Sentinel2 implementada en el análisis del año 2021. Y a que FRAGSTATS, el programa que ambos estudios utilizaron para obtener las métricas del paisaje es sensible a la escala de análisis (Li et al., 2001).

Se detectó reducción de la distancia estructural tanto para parches de bosque como de pasto; sin embargo, White (2019) menciona, que el aislamiento medio del parche es una medida de distribución, dispersión, o agregación, y no una medida de la fragmentación.

Existe una reducción de la complejidad de la forma de los parches, así como del borde (promedio de índice de forma de 1.10). El índice de forma de uno corresponde a la forma cuadrada, y las formas circulares o cuadradas son un signo de las actividades humanas en el uso de la tierra, esto porque de forma natural, rara vez se presentan formas simples (White, 2019).

El hecho de que no se hayan detectado diferencias significativas en la métrica de porcentaje de área de bosque, indica que la superficie forestal ha ocupado del 48 al 52 % de la superficie, en los años de análisis. De acuerdo con las métricas, PLAND.Bosque y AI.Bosque, en 1986 el bosque ocupaba el 52.26 % del ANP, con un índice de agregación de 96 %, en contraste para el año 2021 se observa que el porcentaje del área forestal es de 52.95 % con índice de agregación de 89 %. Así, se observa que en el periodo 1986 - 2021 ha habido una desagregación de los parches del bosque, además se detectó la más baja conexión espacial, de acuerdo con el índice de contigüidad, con un valor promedio de 0.15 que muestra la dominancia de parches de un solo píxel.

De 1994 a 2021 hubo incrementos tanto en la cobertura forestal como en la densidad de parches. Estos nuevos y pequeños parches son vulnerables por su baja diversidad y experimentan cambios en sus condiciones ambientales, de acuerdo con la teoría de biogeografía de islas, que también menciona

Conclusions

The Biosphere Reserve of Los Tuxtlas has undergone significant land use changes over the past decades. In 1986, forest cover predominated, but by 1994, it had decreased considerably, alongside the expansion of areas dedicated to agriculture and livestock grazing. However, by 2021, a partial recovery of forest vegetation is observed, suggesting processes of reforestation or the abandonment of agricultural lands.

Despite this recovery, deforestation remains a constant threat, with a historical trend of forest loss in favor of grassland-agriculture.

The landscape structure analysis reveals an increase in forest fragmentation, with a higher number of patches and reduced connectivity between them. This indicates that, although forest cover has expanded in terms of area, its distribution is more fragmented and less continuous, which could negatively impact biodiversity and ecosystem services.

Future developments suggest a stabilization of land use dynamics, with forest cover remaining at levels close to 52 % by 2050.

Although vegetation shows signs of regeneration, it is crucial to implement conservation and sustainable management strategies that promote ecological connectivity and prevent further forest loss.

End of English version

References / Referencias

- Aguilar-Vásquez, Y., Aliphat-Fernández, M. M., Caso-Barrera, L., Del Amo-Rodríguez, S., Sánchez-Gómez, M. L., & Martínez-Carrera, D. (2014). Impacto de las unidades de selva manejada tradicionalmente en la conectividad del paisaje de la Sierra de Los Tuxtlas, México. *Revista de Biología Tropical* 62(3), 1099-1109. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442014000300022&lng=en&tIng=es
- Baranyi G., Saura S., Podani, J., & Jordán, F. (2011). Contribution of habitat patches to network connectivity: Redundancy and uniqueness of topological indices. *Ecological Indicators* 11(5), 1301-1310. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.02.003>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). Fragmentación. Recuperado de <https://www.biodiversidad.gob.mx/region/fragmentacion>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2015). InfoStat versión 2015.

que los fragmentos más grandes tienen mayor diversidad, mayor estabilidad y riqueza de recursos (Liu et al., 2018).

Se encontró un incremento en el número y densidad de parches. De acuerdo con White (2019) un efecto de la fragmentación es la producción de muchos parches pequeños, con mayor complejidad y cantidad de borde. Cabe mencionar que la densidad de parches es diferente a la densidad reportada por Vega-Vela et al. (2018). Esto se debe a la diferencia de los años analizados.

Recomendaciones para la conservación y restauración de la RBLT

Es fundamental desarrollar e implementar planes de restauración ecológica que aborden tanto la pérdida de hábitat como la fragmentación, garantizando la recuperación de los ecosistemas y la conectividad del paisaje.

Se deben fortalecer y aplicar políticas de uso sostenible del suelo que prevengan la expansión descontrolada de actividades agropecuarias, promoviendo modelos de producción compatibles con la conservación de los ecosistemas, como sistemas agroforestales, manejo silvopastoril y prácticas de agricultura regenerativa que favorezcan la biodiversidad, la salud del suelo y la resiliencia del paisaje.

La creación y mantenimiento de corredores biológicos facilitarán el movimiento de especies, ayudando a mitigar la pérdida de biodiversidad y asegurando la provisión de servicios ecosistémicos esenciales.

Aunque las proyecciones pueden indicar estabilidad en el largo plazo en la RBLT, la ausencia de estrategias de conservación efectivas podría derivar en una disminución progresiva de la diversidad ecológica.

Conclusiones

La Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas ha experimentado importantes cambios en el uso del suelo a lo largo de las últimas décadas. En 1986, predominaba la cobertura forestal, pero para 1994 sufrió una reducción significativa, en paralelo con la expansión de áreas dedicadas a la agricultura y el pastoreo. Sin embargo, a partir de 2021, se observa una recuperación parcial de la vegetación forestal, lo que sugiere procesos de reforestación o el abandono de tierras agrícolas.

- Computer software program produced by Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Available at: <http://www.infostat.com.ar>
- Durand Smith, M. L., & Ruiz Cedillo, J. (2009). Estaciones biológicas y participación social: la experiencia de la Universidad Nacional Autónoma de México en Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Ambiente y Sociedad*, 12(2), 325–340. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2009000200008>
- Eastman, J. R. (2016). IDRISI version 18.31. Computer software program produced by Clark University, Worcester, MA, USA.
- Edge, C. B., Fortin, M. J., Jackson, D. A., Lawrie, D., Stanfield, L., & Shrestha, N. (2017). Habitat alteration and habitat fragmentation differentially affect beta diversity of stream fish communities. *Landscape Ecology*, 32(3), 647–662.
- Galicia, L. (2016). Dinámica de cambio del uso de suelo y vegetación en México: patrones de cambio, causas directas e indirectas y prioridades futuras. En: Geografía de México. *Una reflexión espacial contemporánea*. Instituto de Geografía-UNAM y Programa Editorial del Gobierno de la República-SEP, México, pp 235-249.
- Guevara, S. J., Laborde, J., & Sánchez-Ríos, G. (2004). Los Tuxtlas: El paisaje de la sierra. Instituto de Ecología, A.C. y Unión Europea.
- INEGI. (1992). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación*. Escala 1:250 000. Serie I. Continuo Nacional
- INEGI. (2001). *Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos*. Continuo Nacional serie I. Provincias fisiográficas escala 1:1000000.
- INEGI. (2007). *Conjunto de datos vectoriales escala 1:1000000*. Temperatura media anual.
- INEGI. (2012). *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Humedales potenciales*. Escala 1:250 000
- INEGI. (2014). *Conjunto de Datos de Erosión del Suelo*. Escala 1: 250 000 Serie I Continuo Nacional.
- INEGI. (2018). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación*. Escala 1:250 000. Serie VII. Conjunto Nacional [Archivo electrónico]. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463842781>
- INEGI. (2021). *Mapa Digital de México (versión 6.1)*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 14 de marzo de 2025, de <https://gaia.inegi.org.mx/mdm6/>
- INEGI. (2024). *Conjunto Nacional de Información Topográfica a escala 1:50 000*. INEGI. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=794551131961>
- Li, X., Lu, L., Cheng, G., & Xiao, H. (2001). Quantifying landscape structure of the Heihe River Basin, north-west China using FRAGSTATS. *Journal of Arid Environments* 48(4), 521–535. <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0715>
- A pesar de esta recuperación, la deforestación sigue siendo una amenaza constante, con una tendencia histórica de pérdida de bosque a favor del pastizal-agrícola.
- El análisis de la estructura del paisaje revela un aumento en la fragmentación del bosque, con una mayor cantidad de parches y menor conectividad entre ellos. Esto indica que, aunque la cobertura forestal ha crecido en términos de superficie, su distribución es más dispersa y menos continua, lo que puede afectar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.
- Las proyecciones a futuro sugieren una estabilización de la dinámica del uso de suelo, con la cobertura forestal manteniéndose en niveles cercanos al 52 % hacia 2050.
- Si bien la vegetación muestra signos de regeneración, es fundamental implementar estrategias de conservación y manejo sustentable que fomenten la conectividad ecológica y eviten nuevas pérdidas de bosque.

Fin de la versión en español

- Liu, J., Wilson, M., Hu, G., Liu, J., Wu, J., & Yu, M. (2018). How does habitat fragmentation affect the biodiversity and ecosystem functioning relationship? *Landscape Ecology* 33, 341-352. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0620-5>
- McGarigal, K. (2015). *FRAGSTATS help*. University of Massachusetts: Amherst, MA, USA, 182. [en línea]. <https://ibis.geog.ubc.ca/courses/geob479/labs/fragstats.help.4.pdf>
- McGarigal, K., Cushman, S., & Ene, E. (2012). *fragstats v4.2: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps*. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts.
- Neger, C., & Crespo Guerrero, J. M. (2021). Problemática de la gestión de las Áreas Naturales Protegidas de México: Un análisis en las Reservas de la Biosfera de los Tuxtlas y los Petenes. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 41(2), 463-481. <https://doi.org/10.5209/aguc.79345>
- Neger, C., & Manzo-Delgado, L. (2021). La evaluación de la gestión del riesgo de los incendios forestales en áreas naturales protegidas tropicales: el caso de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (México). *Cuadernos Geográficos*, 60(3), 95-128. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v60i3.16236>

- Palomeque de la Cruz, M. A., Galindo Alcántara, A., Pérez Sánchez, E., Sánchez, A. de J., & Escalona Maurice, M. J. (2017). Modelos geomáticos con base en transición para el análisis espacial en Villahermosa, Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 253–267. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.48>
- Perry, D. A., Oren, R., & Hart, S. C. (2008). *Forest ecosystems*. 2da ed. JHU press. USA
- Purswani, E., Verma, S., Jayakumar, S., Khan, M. L., & Pathak, B. (2022). Examining and predicting land use change dynamics in Gandhinagar district, Gujarat, India. *Journal of Urban Management* 11(1), 82-96. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2021.09.003>
- QGIS Development Team (2021). QGIS Geographic Information System version 3.16 Hannover. Computer software program produced by Open Source Geospatial Foundation Project. Available at: <http://qgis.osgeo.org>
- Quintanar Ashley J. H. (2015). Ganaderos y sector ambientalista en la reserva de la biosfera Los Tuxtlas: ¿Intereses contrapuestos inconciliables? (Tesis de maestría). Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa
- Reynoso Rosales, V. H. (2011). Provoca fragmentación de Los Tuxtlas desaparición de anfibios y reptiles. Boletín de la Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2011_233.html
- Reynoso Santos, R., Valdez Lazalde, J. R., Escalona Maurice, M. J., de los Santos Posadas, H. M., & Pérez Hernández, M. J. (2016). Cadenas de Markov y autómatas celulares para la modelación de cambio de uso de suelo. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(1), 72–81. Recuperado de <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/319>
- Rogan, J. E., & Lacher, T. E. (2018). Impacts of Habitat Loss and Fragmentation on Terrestrial Biodiversity. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.10913-3
- RStudio Team (2021). RStudio: Integrated Development for R version 1.4.1103. Computer software program produced by RStudio, PBC, Boston, MA. Available at: <http://www.rstudio.com>
- Rutledge, D. T. (2003). Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: can pattern reflect process?. *Published by the Department of Conservation*. Wellington, Nueva Zelanda. 27 p.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2022). Marco Mundial Kunming-Montreal de la Diversidad Biológica. Recuperado de <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-es.pdf>
- SEMARNAT (2016). Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [en línea] <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/reserva-de-la-biofera-los-tuxtlas?idiom=es> 14/0/2022
- SEMARNAT (2018). Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [en línea]. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/reserva-de-la-biosfera-los-tuxtlas-158993> 14/08/2022
- Spedicato, G. A., Kang, T. S., Yalamanchi, S. B., Yadav, D., & Cordón I. (2018). The markovchain Package: A Package for Easily Handling Discrete Markov Chains in R. [online]. http://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/409332_c1c431cbf42a403a9f5d2f5e48bcfec1.html
- U.S. Geological Survey. (2021). Earth Explorer. U.S. Department of the Interior. Retrieved September 21, 2021, from <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Vega-Vela, V., Muñoz-Robles, C. A., Rodríguez-Luna, E., López-Acosta, J. C., & Serna-Lagunes, R. (2018). Análisis de la fragmentación del paisaje de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 5(14), 227-238. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1442>
- Velázquez, A., Mas, J. F., Gallegos, J. D., Saucedo, R. M., Alcántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E., & Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta ecológica* (62), 21-37. <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906202.pdf>
- Von Thaden, J. J., Laborde, J., Guevara, S., & Mokondoko-Delgadillo, P. (2020). Dinámica de los cambios en el uso del suelo y cobertura vegetal en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (2006-2016). *Revista mexicana de biodiversidad*, 91. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3190>
- Von Thaden, J. J., Laborde, J., Guevara, S., & Venegas-Barrera, C. S. (2018). Forest cover change in the Los Tuxtlas Biosphere Reserve and its future: The contribution of the 1998 protected natural area decree. *Land Use Policy* 72, 443–450. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.040>
- With K. A. (2019). *Essentials of Landscape Ecology*. Oxford University Press. Gran Bretaña, 641p.

Annex 1. Selected metrics
Anexo 1. Métricas seleccionadas

Metrics implemented / Métricas implementadas	Description / Descripción	Formule / Fórmula
PLAND.Forest Percentage of forest area PLAND.Grass – Percentage of grass area / PLAND.Bosque Porcentaje de área del bosque PLAND.Pasto - Porcentaje de área del pasto	Landscape Percentage, identifies the proportional abundance of each patch type in the landscape. This metric ranges from 0 to 100, values of 0 identify rare landscapes, and 100 exposes a single landscape type (Mcgarigal 2015). / Porcentaje de paisaje, identifica la abundancia proporcional de cada tipo de parche en el paisaje. Esta métrica varía de 0 a 100, los valores de 0 identifican paisajes raros, y 100 expone un solo tipo de paisaje (Mcgarigal 2015).	$PLAND = P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} \times (100)$ P_i = percentage of the landscape occupied by the type of class patch . A_{ij} = area expressed in m ² of patch ij . A = total area of the landscape in m ² . $NP = ni /$ P_i = porcentaje del paisaje ocupada por el tipo de parche de clase . A_{ij} = superficie expresada en m ² del parche ij . A = superficie total del paisaje en m ² . $NP = ni$
NP.Forest - Number of forest patches NP.Grass - Number of grass patches / NP.Bosque - Número de parches del bosque NP.Pasto - Número de parches de pasto	The number of patches is a measure of fragmentation, $NP \geq 1$ (Mcgarigal 2015). / El número de parches es una medida de fragmentación, $NP \geq 1$ (Mcgarigal 2015).	is the number of patches in the landscape of patch type (class). / es el número de parches en el paisaje del tipo de parche (clase).
PD.Forest – Forest patch density PD.Grass – Grass patch density / PD.Bosque – Densidad de parches del bosque	Number of patches divided by total landscape area (m ²), multiplied by 10000 and 100 (to convert to 100 hectares). Expressed in units per 100 hectares (Mcgarigal 2015). / Número de parches dividido por el área total del paisaje (m ²), multiplicado por 10000 y 100 (para convertirlo en 100 hectáreas). Expresado en unidades por cada 100 hectáreas (Mcgarigal 2015).	$PD = \frac{n_i}{A} \times 10000 \times 100$ n = number of patches in landscape class. A = total lanscape area (m ²). / n = número de parches en la clase del paisaje. A = superficie total del paisaje (m ²).
ENN_MN.Forest - average of the mean Euclidean distance to the nearest forest neighbor ENN_MN.Grass - average of the mean Euclidean distance to the nearest grass neighbor / ENN_MN.Bosque -promedio de la distancia euclidiana media al vecino más cercano de bosque ENN_MN.Pasto -promedio de la distancia euclidiana media al vecino más cercano de pasto	Where ENN is the distance expressed in meters, to the nearest patch of the same type, starting from the center of the cell. Values are greater than zero; when it approaches zero there is less distance between neighboring patches of the same type (Mcgarigal 2015). It is a simple measure of structural isolation (White 2019). / Donde ENN es la distancia expresada en metros, al parche más cercano del mismo tipo, partiendo del centro de la celda. Sus valores son mayores a cero; cuando se acerca a cero hay menor distancia entre parches vecinos del mismo tipo (Mcgarigal 2015). Es una medida simple para medir el aislamiento estructural (White 2019).	h_{ij} = distancia del parche ij al parche vecino más cercano del mismo tipo o clase. / h_{ij} = distancia del parche ij al parche vecino más cercano del mismo tipo o clase.

Metrics implemented / Métricas implementadas	Description / Descripción	Formule / Fórmula
SHAPE_MN.Forest- average forest cover shape index SHAPE_MN.Grass - average grass cover shape index / SHAPE_MN.Bosque- promedio índice de forma de la cobertura forestal SHAPE_MN.Pasto - promedio del índice de forma del pasto	Where the shape index (SHAPE) is equal to the perimeter of the patch in meters divided by the square root of the patch area which is in m ² , adjusted by a constant (Mcgarigal 2015): Patches with simple square shapes have a value of 1, and more complex shapes with more edge have values greater than 1 (White 2019). / Donde el índice de forma (SHAPE) es igual al perímetro del parche en metros dividido por la raíz cuadrada del área del parche que está en m ² , ajustado por una constante (Mcgarigal 2015): Los parches con formas cuadradas simples tienen valor de 1, y formas más complejas con más borde tienen valores mayores a 1 (White 2019).	$SHAPE = \frac{0.25P_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}$ P_{ij} = perimeter (m) of patch <i>ij</i> . a_{ij} = area (m ²) of patch <i>ij</i> . / P_{ij} = perímetro (m) del parche <i>ij</i> . a_{ij} = área (m ²) del parche <i>ij</i> .
CONTIG_MN.Forest - average forest contiguity index / CONTIG_MN.Bosque - promedio del índice de contigüidad del bosque	The CONTIG contiguity index ranges from 0 to 1, where one indicates greater connection between patches. It is the average contiguity value for cells in a patch (Mcgarigal 2015). CONTIG is an indicator of the distribution within the patch, of the adjacency of the cells in a patch, this index can identify small gaps in the patch that increase its contiguity value, while a patch with no gaps has the value 0 (White 2019). / El índice de contigüidad CONTIG varía de 0 a 1, donde uno indica mayor conexión entre parches. Es el valor de contigüidad promedio para las celdas en un parche (Mcgarigal 2015). CONTIG es un indicador de la distribución dentro del parche, de la adyacencia de las celdas de un parche, este índice puede identificar huecos pequeños en el parche que incrementan su valor de contigüidad, mientras que un parche sin huecos tiene el valor de 0 (White 2019).	$CONTIG = \frac{\left[\sum_{r=1}^z \frac{C_{ijr}}{a_{ij}^*} \right] - 1}{v - 1}$ C_{ijr} = contiguity value for pixel in patch <i>ij</i> . v = sum of the values in a 3 by 3 cell template. a_{ij}^* = area of patch <i>ij</i> . in terms of number of cells. / C_{ijr} = = valor de contigüidad para el píxel en el parche <i>ij</i> . v = suma de los valores en una plantilla de celdas de 3 por 3. a_{ij}^* = área del parche <i>ij</i> . en términos de número de celdas.
AI_Forest Forest aggregation index AI_Grass Grass aggregation index / AI_Bosque Índice de agregación del bosque AI_Pasto Índice de agregación del pasto	Ratio of actual shared edges to maximum possible shared edges; when the coverage is completely disaggregated (because there are no similar adjacencies), and when the coverage type is aggregated into a single large patch (Mcgarigal 2015, White 2019). It is expressed as a percentage / Proporción de los bordes compartidos reales en relación con los bordes compartidos máximos posibles; cuando la cobertura está completamente desagregada (porque no hay adyacencias similares), y cuando el tipo de cobertura se agrega en un solo parche grande (Mcgarigal 2015, White 2019). Está expresado en porcentaje	$AI = \left[\frac{gii}{max - gii} \right] \times 100$ gii = number of similar adjacencies (joins) between pixels of patch type (class), based on the single count method. $Max - gii$ = maximum number of similar adjacencies (joins) between pixels of patch type (class), based on the single-counting method. / gii = número de adyacencias (uniones) similares entre píxeles del tipo de parche (clase) basado en el método de recuento único. $Max - gii$ = número máximo de adyacencias (uniones) similares entre píxeles del tipo de parche (clase), basado en el método de recuento único.

Source: Compiled by the author with data from Mcgarigal, 2015, McGarigal et al. (2012) and White 2019

Fuente: Elaboración propia con datos de Mcgarigal, 2015, McGarigal et al. (2012) y White 2019

Entrepreneurial profile of protected agriculture producers in the municipality of Tecozautla, Hidalgo, Mexico

Antonio Aguilar-López*
Blanca Yazmín Lisbeth Hernández-Jasso
Ana Isabel Ramírez-Sabino

Abstract

Protected agriculture is a relatively recent phenomenon in Hidalgo, Mexico. Within the state, Tecozautla stands out for the expansion of the cultivated area between 2013 and 2023. This study examines the relevance of applying the term “entrepreneur” in rural contexts by analyzing personality traits associated with entrepreneurship, using protected agriculture producers in Tecozautla as a case study. The specific objectives were: (1) to determine, based on a literature review, whether the term “entrepreneur” is appropriate for characterizing protected agriculture producers in general; (2) to analyze the economic significance of this type of agriculture in the municipality; and (3) to describe the sociodemographic profile of those engaged in it. The study was conducted with 39 producers between February and May 2023. The instrument included items related to skills, attitudes, and motivations associated with entrepreneurial spirit. The reliability analysis showed that the refined scale performed acceptably overall, with a McDonald’s ω coefficient of 0.852. Results from the exploratory factor analysis indicated that the refined scale measures a single construct, referred to as the “entrepreneurial profile.”

Keywords: Entrepreneurship, greenhouses, food production, Mezquital Valley.

Perfil emprendedor de los productores de agricultura protegida en el municipio de Tecozautla, Hidalgo, México

Resumen

La agricultura protegida es un fenómeno relativamente reciente en Hidalgo, México. Dentro del estado, Tecozautla destaca por el crecimiento de la superficie entre 2013 y 2023. El objetivo de este estudio es analizar la pertinencia del uso del término “emprendedor” en el ámbito rural, a través de un análisis de los rasgos de personalidad asociados al emprendimiento, tomando como caso de estudio a los productores de agricultura protegida de Tecozautla. Los objetivos específicos fueron: 1) determinar, con base en una revisión de literatura, si el término “emprendedor” es apropiado para caracterizar a los productores de agricultura protegida en general, 2) analizar la importancia económica de este tipo de agricultura en el municipio y 3) describir el perfil sociodemográfico de quienes la practican. El estudio se realizó con 39 productores, entre febrero y mayo de 2023. El instrumento empleado incluyó ítems relacionados con habilidades, actitudes y motivaciones asociadas con el espíritu emprendedor. Los resultados del análisis de confiabilidad mostraron que la escala depurada del instrumento tuvo un desempeño global aceptable, con un coeficiente ω McDonald de 0.852. Los resultados del análisis factorial exploratorio mostraron que la escala depurada mide un único constructo, que puede denominarse “perfil emprendedor”.

Palabras clave: Emprendimiento, invernaderos, producción de alimentos, Valle del Mezquital.

Tecnológico Nacional de México/ITS de Huichapan, domicilio conocido s/n, El Saucillo, Huichapan, Hidalgo. C. P. 42411, México.
*Corresponding author: aaguilar@iteshu.edu.mx, Tel: 5574262251, ORCID ID: 0001-9343-5764.

Date received: May 14, 2024

Date accepted: May 15, 2025

Introduction

One strategy to mitigate the effects of climate change on food production is the management of the agro-habitat through protected agriculture. Within this type of agriculture, greenhouses stand out as enclosed structures made of transparent materials and large enough to accommodate even fruit trees (SENASICA, 2016). Greenhouses are characterized by more advanced technology and higher productivity levels than other forms of protected agriculture (Hernández-Suárez, 2020), such as shade nets, macro tunnels, and micro tunnels (SIACON, 2024). These structures have emerged as a sustainable alternative for intensive food production (Vargas-Canales et al., 2018). In Mexico, the importance of this alternative lies in the fact that the amount of arable land per capita has decreased since 1985, and this trend is expected to continue through 2050 (Sosa-Baldivia & Ruíz-Ibarra, 2017).

In Mexico, the area cultivated under greenhouses has followed a growing trend, rising from 123.40 hectares in 2003 to 12,617.70 hectares in 2023, despite a marked decline between 2012 and 2016 (SIACON, 2024). The peak was reached in 2012, driven by policies aimed at increasing the number and size of greenhouse units to supplement U.S. food production. However, sustained participation in this activity required the development of financial, administrative, technical, and managerial skills to withstand the reduction or withdrawal of government support programs (Hernández-Suárez, 2020).

Starting a protected agriculture project involves facing a steep learning curve during the initial stages of operation. This curve, along with uncertainty caused by phytosanitary issues, high initial investment, operating costs, scale of production, structural design flaws, and reliance on input suppliers, has been documented as a factor limiting the growth of this form of agriculture in Mexico (Moreno-Reséndez et al., 2011). In this context, the establishment of greenhouses is influenced by producers' sociodemographic characteristics (such as age, education level, experience in the activity, self-confidence, and access to technical assistance), as well as by the characteristics of the production units (production scale, cultivated area, and yield) (Vargas-Canales et al., 2015). External factors have also been identified as playing

Introducción

Una estrategia para mitigar los efectos del cambio climático sobre la producción de alimentos es el manejo del agro-hábitat, a través de la agricultura protegida. Dentro de este tipo de agricultura se encuentran los invernaderos, que son estructuras cerradas, elaborados con materiales transparentes y con capacidad suficiente para albergar hasta árboles frutales (SENASICA, 2016). Los invernaderos se caracterizan por ser unidades de producción con tecnología más avanzada y mayores niveles de productividad que los otros tipos de agricultura protegida (Hernández-Suárez, 2020), como son la malla sombra, macro túnel y micro túnel (SIACON, 2024). Estas estructuras se han posicionado como una alternativa sustentable para la producción intensiva de alimentos (Vargas-Canales et al., 2018). En el caso de México, la importancia de esta alternativa radica en que la disponibilidad de tierra cultivable por habitante se ha reducido en el país desde 1985 y se espera que esta tendencia continúe hasta el 2050 (Sosa-Baldivia & Ruíz-Ibarra, 2017). En México, la superficie sembrada bajo invernadero ha manifestado una tendencia creciente, al pasar de 123.40 hectáreas en 2003 a 12 617.70 hectáreas en 2023, con una caída marcada entre 2012 y 2016 (SIACON, 2024). El máximo de la superficie se alcanzó en 2012, impulsada por la política dirigida a incrementar el número y la extensión de las unidades, para complementar la producción de alimentos de Estados Unidos. Sin embargo, la permanencia de los productores en esta actividad requería del desarrollo de capacidades (financieras, administrativas, técnicas y de gestión) que permitieran hacer frente a una reducción o cancelación de los programas de apoyo gubernamental (Hernández-Suárez, 2020).

Emprender un proyecto de agricultura protegida implica enfrentar una curva de aprendizaje pronunciada durante las etapas iniciales de operación. Se ha documentado que esta curva, junto con la incertidumbre que generan los problemas fitosanitarios, la elevada inversión inicial, los costos de operación, la escala de producción, las deficiencias en el diseño de las estructuras y la dependencia sobre los proveedores de insumos limitan el crecimiento de esta agricultura en México (Moreno-Reséndez et al., 2011). En este contexto, el establecimiento de invernaderos se ve influenciado por las características sociode-

a role in this process, including innovation networks involving government agencies, academic and research institutions, and input suppliers (Vargas-Canales et al., 2022).

Tecozautla, in the state of Hidalgo, began reporting greenhouse cultivation on 15 hectares in 2013. This municipality is part of a region spanning the states of Hidalgo and Querétaro, where protected agriculture has expanded in recent years (SIACON, 2024). This growth may be attributed to a convergence of factors that support the establishment of this type of agriculture, such as geographic and climatic conditions (Garza-Alonso et al., 2020), market access (Terrones-Cordero, 2019; Terrones-Cordero & Sánchez-Torres, 2011), the presence of innovation networks (Vargas-Canales et al., 2022), and the availability of resources (land, water, and labor), along with infrastructure conditions and land prices. The influence of these factors is evident at the spatial level: an estimation by the authors of Moran's I for these states yielded a value of 0.161, significant at the 99 % level, indicating a moderate positive spatial correlation in the regional distribution of greenhouses (2023).

The growth of greenhouse cultivation in Tecozautla has been driven primarily by local actors who, in the absence of institutional support, have made decisions regarding investment, innovation, and management. However, despite their economic significance, there is a lack of an analytical framework to understand their role from a more comprehensive perspective.

At the empirical level, there are no studies that systematically document the sociodemographic profile of producers engaged in protected agriculture in Tecozautla or the individual factors influencing their decision to adopt it. At the theoretical level, the relevance of using the term "entrepreneur" as an analytical category to describe these producers has not been questioned or validated, even though many of their actions align with behaviors commonly associated with entrepreneurship in the specialized literature. The lack of conceptual clarity regarding the applicability of the term "entrepreneur" to characterize agricultural producers has important implications for public policy design. The uncritical use of this category may lead to interventions based on assumptions that do not reflect the realities of rural actors.

mográficas del productor (como edad, escolaridad, experiencia en la actividad, autoconfianza y acceso a asesoría técnica); así como por las características de las unidades de producción (escala de producción, superficie de producción y rendimiento) (Vargas-Canales et al., 2015). No obstante, también se han identificado factores externos que juegan un rol en este proceso, como la presencia de redes de innovación en las que participan instituciones gubernamentales, instituciones de enseñanza-investigación y proveedores de insumos (Vargas-Canales et al., 2022).

Tecozautla, en el estado de Hidalgo, comenzó a registrar superficies sembradas bajo invernadero a partir del 2013 con 15 hectáreas. Este municipio forma parte de una región ubicada entre los estados de Hidalgo y Querétaro en la que, en los últimos años, se ha observado una expansión de la agricultura protegida (SIACON, 2024). Este crecimiento puede deberse a la convergencia de factores que favorecen el establecimiento de este tipo de agricultura, tales como condiciones geográficas y climáticas (Garza-Alonso et al., 2020), acceso a mercados (Terrones-Cordero, 2019; Terrones-Cordero & Sánchez-Torres, 2011) presencia de redes de innovación (Vargas-Canales et al., 2022), así como la disponibilidad de recursos (tierra, agua y mano de obra), condiciones de infraestructura y precio de la tierra. De hecho, el efecto de estos factores puede observarse a nivel espacial, ya que una estimación propia de la I de Moran para estos estados arrojó un valor de 0.161, significativo al 99 %, lo que indica una correlación espacial positiva moderada en la distribución regional de los invernaderos (en 2023).

El crecimiento de la superficie sembrada bajo invernadero en Tecozautla ha sido impulsado principalmente por actores locales que, en ausencia de apoyos institucionales, han tomado decisiones sobre inversión, innovación y gestión. No obstante, a pesar de su peso económico, se carece de un marco analítico que permita comprenderlos desde una perspectiva más integral.

A nivel empírico, no se cuenta con estudios que documenten de forma sistemática el perfil sociodemográfico de los productores que participan en la agricultura protegida en Tecozautla, ni sobre los factores individuales que influyen en su decisión de adoptarla. A nivel teórico, no se ha cuestionado ni validado la pertinencia del uso del término emprendedor como

For example, if applied indiscriminately, it assumes that all producers fit an entrepreneurial profile, which could result in financing or training schemes focused exclusively on innovation, business growth, or individual autonomy—excluding those with more traditional trajectories or lower levels of technical, financial, or educational capital. Moreover, this approach risks legitimizing development models based solely on individual merit, thereby obscuring structural conditions—such as unequal access to resources, markets, or information—that also shape decision-making. On the other hand, dismissing the term entirely risks overlooking the transformative potential of these rural actors and missing opportunities to recognize, strengthen, and scale the capacities they already possess. In this sense, empirically and conceptually validating the applicability of the concept would allow for a more comprehensive approach—one that not only values producers' strengths but also anticipates their needs, supports their integration into innovation systems, and enables the design of more effective, inclusive, and context-sensitive public policies.

In this context, the objective of this study is to analyze the relevance of the term "entrepreneur" in rural contexts through an empirical examination of personality traits associated with entrepreneurship, using protected agriculture producers in the municipality of Tecozautla, Hidalgo, as a case study. The specific objectives are: (1) to determine, based on a literature review, whether the term "entrepreneur" is appropriate for characterizing protected agriculture producers in general; (2) to analyze the economic significance of this type of agriculture in the municipality; and (3) to describe the sociodemographic profile of those engaged in it.

Based on these objectives, the following research questions are posed: What personality traits associated with entrepreneurship are present among producers engaged in protected agriculture in Tecozautla? To what extent is it appropriate to characterize them as entrepreneurs? What is their sociodemographic profile? What is the economic significance of this activity compared to other forms of agricultural production in the municipality? What is the relationship between their individual characteristics and the decision to establish a greenhouse?

categoría analítica para describir a estos productores, a pesar de que muchas de sus acciones coinciden con lo que la literatura especializada asocia con ese comportamiento.

La falta de claridad conceptual sobre la aplicabilidad del término emprendedor para caracterizar a los productores agrícolas tiene implicaciones relevantes para la formulación de políticas públicas. El uso acrítico de esta categoría puede conducir a intervenciones basadas en supuestos que no se corresponden con la realidad de los actores rurales. Por ejemplo, si se emplea indiscriminadamente, se asume que todos los productores se ajustan a un perfil emprendedor y esto podría derivar en esquemas de financiamiento o capacitación centrados exclusivamente en la innovación, el crecimiento empresarial o la autonomía individual, excluyendo a aquellos con trayectorias más tradicionales o con menores niveles de capital técnico, financiero o educativo. Además, este enfoque corre el riesgo de legitimar modelos de desarrollo sustentados únicamente en el mérito individual, invisibilizando las condiciones estructurales (como el acceso desigual a recursos, mercados o información) que también influyen en la toma de decisiones. Por otro lado, si se descarta su uso, se corre el riesgo de ignorar el potencial transformador de estos actores rurales y desaprovechar oportunidades para reconocer, fortalecer y escalar las capacidades que ya poseen. En este sentido, validar empírica y conceptualmente la aplicabilidad del concepto, permitiría avanzar hacia un enfoque que no solo valore las fortalezas de los productores, sino que también anticipe sus necesidades, contribuya a su integración en sistemas de innovación y facilite el diseño de políticas públicas más efectivas, inclusivas y territorialmente contextualizadas.

En este marco, el objetivo de este estudio es analizar la pertinencia del uso del término "emprendedor" en el ámbito rural, a través de un análisis empírico de los rasgos de personalidad asociados al emprendimiento, tomando como caso de estudio a los productores de agricultura protegida del municipio de Tecozautla, Hidalgo. Dentro de los objetivos específicos se encuentran: 1) determinar, con base en una revisión de literatura, si el término "emprendedor" es apropiado para caracterizar a los productores de agricultura protegida en general, 2) analizar la importancia eco-

In line with the research questions, the following hypotheses are proposed: Producers exhibit a set of personality traits consistent with the entrepreneurial profile described in the literature; the term "entrepreneur" is appropriate to describe them; protected agriculture generates greater economic value per unit of land compared to open-field agriculture in Tecozautla; and the adoption of this technology in the municipality is more strongly influenced by personal motivations than by access to institutional financing.

Characterizations of the Entrepreneur

Entrepreneurship "essentially consists in doing things that are not generally done in the ordinary course of business routine; it is essentially a phenomenon that comes under the wider aspect of leadership" (Schumpeter, 1965, pp. 51–52). It has also been defined as "the process of doing something new and something different with the purpose of creating wealth for the individual and adding value to society" (Kao, 1993).

The entrepreneur "perceives an opportunity and can seize it. Thus, entrepreneurship is a process that involves both perception and action" (Feldman et al., 2002, p. 43). Entrepreneurs have also been defined as individuals who "specialize in taking responsibility for and making judgmental decisions that affect the location, form, and use of goods, resources, or institutions" (Hébert & Link, 1989); as "individuals who establish and manage a business with the primary purpose of achievement and growth" (Carland et al., 1984); and as "persons who engage in a process of creating wealth and adding value by incubating ideas, assembling resources, and making things happen" (Kao, 1993).

Table 1 presents a synthesis of key theoretical contributions on the entrepreneurial profile, organized by authors who have examined the topic from psychological, behavioral, and functional perspectives.

Some studies have focused on identifying the factors that motivate individuals to pursue a career in entrepreneurship rather than alternative paths. In his entrepreneurial career model, Dyer (1995) identifies the following components that shape the attributes of individuals who found new organizations: (1) background factors that influence career choice, (2) career socialization, (3) career orientation, and (4) career progression.

nómica de este tipo de agricultura en el municipio y 3) describir el perfil sociodemográfico de quienes la practican.

A partir de estos objetivos, se plantean las siguientes preguntas de investigación: ¿qué rasgos de personalidad vinculados al emprendimiento se manifiestan entre los productores de agricultura protegida en Tecozautla?, ¿en qué medida es pertinente calificarlos como emprendedores?, ¿cuál es su perfil sociodemográfico?, ¿qué relevancia económica tiene esta actividad frente a otras formas de producción agrícola en el municipio? y ¿qué relación existe entre sus características individuales y la decisión de establecer un invernadero?

En correspondencia con las preguntas anteriores, se formulan las siguientes hipótesis: que los productores presentan un conjunto de rasgos de personalidad consistentes con el perfil emprendedor descrito en la literatura; que el término emprendedor es adecuado para describirlos; que la agricultura protegida genera un mayor valor económico por unidad de superficie comparado contra la agricultura a cielo abierto en Tecozautla y que la adopción de esta tecnología en el municipio está más influida por motivaciones personales que por el acceso al financiamiento institucional.

Caracterizaciones del emprendedor

El emprendimiento "esencialmente consiste en hacer cosas que generalmente no se hacen en el curso ordinario de la rutina de negocios, es esencialmente un fenómeno que viene bajo el aspecto más amplio del liderazgo" (Schumpeter, 1965, pp. 51-52). También se ha definido como "el proceso de hacer algo nuevo y algo diferente con el propósito de crear riqueza para el individuo y añadir valor a la sociedad" (Kao, 1993). El emprendedor "percibe una oportunidad y tiene la habilidad para aprovecharla. Así, el emprendimiento es un proceso que involucra tanto percepción como acción" (Feldman et al., 2002, p. 43); es alguien que "se especializa en tomar responsabilidad por y la realización de decisiones de juicio que afectan la ubicación, la forma y el uso de bienes, recursos o instituciones" (Hébert & Link, 1989). También ha sido visto como el "individuo que establece y maneja un negocio con el propósito principal de logro y crecimiento" (Carland et al., 1984) y cómo "una persona que se compromete en un proceso creador de riqueza y de adición de va-

Table 1. Theoretical contributions on the characteristics, behaviors, and roles of the entrepreneur.
Cuadro 1. Aportaciones teóricas sobre las características, comportamientos y roles del emprendedor.

Author(s) / Autor(es)	Contribution / Aportación	Description / Descripción
David C. McClelland (as cited in De Vries, 1977)	Traits	1) High need for achievement or power, 2) desire to take personal responsibility for decision-making, 3) preference for decisions involving a moderate level of risk, 4) interest in concrete feedback on decision outcomes, and 5) aversion to routine work.
David C. McClelland, de acuerdo con De Vries (1977).	Características	1) Alta necesidad de logro o poder, 2) deseo por tomar responsabilidad personal en la toma de decisiones, 3) preferencia por decisiones que involucran un nivel moderado de riesgo, 4) interés en el conocimiento concreto de los resultados de las decisiones y 5) aversión al trabajo rutinario
Carland et al., (1984).	Attitudes and behaviors	1) Risk-taking, 2) source of formal authority, 3) innovation, 4) initiative, 5) desire for responsibility, 6) need for achievement, 7) ambition, 8) desire for independence, 9) self-confidence, 10) drive, 11) communication skills, 12) technical knowledge, 13) risk assessment, 14) autonomy, 15) assertiveness, 16) need for recognition, 17) need for power, 18) internal locus of control, 19) orientation toward personal values, 20) creativity, 21) energy, 22) positive reaction to setbacks, 23) need for control, 24) challenge-seeking, and 25) growth orientation.
Carland et al., (1984).	Actitudes y comportamientos	1) Asunción del riesgo, 2) fuente de autoridad formal, 3) innovación, 4) iniciativa, 5) deseo de responsabilidad, 6) necesidad de logro, 7) ambición, 8) deseo de independencia, 9) autoconfianza, 10) empuje, 11) habilidades de comunicación, 12) conocimiento técnico, 13) medición de riesgo, 14) autonomía, 15) agresión, 16) necesidad de reconocimiento, 17) necesidad de poder, 18) locus de control interno, 19) orientación a valores personales, 20) creatividad, 21) energía, 22) reacción positiva a contratiempos, 23) necesidad de control, 24) toma de desafíos y 25) orientación al crecimiento.
Hébert & Link, (1989)	Roles	1) Assumes the risk associated with uncertainty, 2) provides financial capital, 3) is an innovator, 4) decision-maker, 5) industry leader, 6) manager or superintendent, 7) organizer and coordinator of economic resources, 8) business owner, 9) employer of factors of production, 10) contractor, 11) arbitrageur, and 12) allocator of resources among alternative uses
Hébert & Link, (1989)	Roles	1) Asumir el riesgo asociado con la incertidumbre, 2) proporcionar capital financiero, 3) es un innovador, 4) tomador de decisiones, 5) líder de la industria, 6) administrador o superintendente, 7) es un organizador y coordinador de recursos económicos, 8) propietario de una empresa, 9) empleador de factores de producción, 10) contratista, 11) es un arbitrajista (del francés <i>arbitrageur</i>) y 12) es un asignador de recursos entre fines alternativos.
Hisrich (1990)	Behaviors	1) Initiative, 2) creative thinking, 3) organization of social and economic mechanisms to convert resources and situations into practical applications, and 4) acceptance of risks and failures.
Hisrich (1990)	Comportamientos	1) Iniciativa, 2) pensamiento creativo, 3) organización de mecanismos sociales y económicos para convertir recursos y situaciones al ámbito práctico y 4) aceptación de riesgos y fallas.
Hisrich (1990)	Distinctive traits	1) Childhood family environment, 2) education, 3) personal values, 4) age, 5) work history, 6) motivation, 7) presence of role models and a support system, 8) presence of a moral support network, 9) presence of a professional support network, and 10) biological sex.
Hisrich (1990)	Características distintivas	1) El ambiente familiar durante la infancia, 2) educación, 3) valores personales, 4) edad, 5) historial laboral, 6) motivación, 7) la presencia de modelos a seguir y un sistema de apoyo, 8) presencia de una red de apoyo moral, 9) presencia de una red de apoyo profesional y 10) sexo biológico.
Raposo et al. (2008)	Traits	1) Personal attributes, 2) need for achievement, 3) internal locus of control, self-confidence, and optimism, 4) profit motivation, 5) creativity, and 6) other motivational factors and personal values, such as the need for autonomy and independence.
Raposo et al. (2008)	Características	1) Atributos personales, 2) necesidad de logro, 3) locus de control interno, autoconfianza y optimismo, 4) motivación por la ganancia, 5) creatividad y 6) otros factores motivacionales y valores personales, como la necesidad de autonomía e independencia.

Source: Authors' own elaboration.

Fuente: Elaboración propia.

The decision to become an entrepreneur is influenced by several factors: (a) individual factors, historically linked to psychological traits that drive individuals to pursue an entrepreneurial career; (b) social factors, related to the entrepreneur's upbringing and their drive to take control of their environment and assert their will; and (c) economic factors, such as the lack of job opportunities that push individuals to pursue entrepreneurship or access to productive resources (Dyer, 1995).

Career socialization can occur through experiences in the following areas: (a) early childhood, (b) work, (c) education, and (d) prior business ventures. Regardless of whether a person identifies as an entrepreneur, if they create and take ownership of an organization, they have assumed the entrepreneurial role (Dyer, 1995).

To characterize Russian entrepreneurs, the following scales were used: (1) need for achievement, (2) economic locus of control, (3) Protestant work ethic, and (4) intrinsic work motivation (Green et al., 1996). In the United States, the following dimensions were measured: (1) need for achievement, (2) preference for innovation, (3) risk-taking propensity, and (4) entrepreneurial drive (Carland & Carland, 1997). Also in the United States, the following data on entrepreneurs proved useful to collect (Schiller & Crewson, 1997): (1) socioeconomic background, (2) attitudes and aspirations, (3) intelligence, (4) training experiences and perceptions, (5) academic achievement, (6) detailed work history, and (7) long-term goals.

A more recent study assessing the relationship between culture and personality traits associated with entrepreneurial motivation classifies these traits into four categories: (1) innovativeness, (2) risk-taking propensity, (3) internal locus of control, and (4) energy level (Thomas & Mueller, 2000). Another contribution identifies seven traits: (1) originality, (2) proactivity and risk-taking, (3) resilience, (4) time and energy management, (5) freedom, (6) sociability and strong communication skills, and (7) image-building (Rodríguez-López & Borges-Gómez, 2018). In the Mexican context, entrepreneurial traits have also been analyzed by separating the population by biological sex (Flores-Rueda et al., 2021).

Methodological approach

This study adopts a mixed-methods approach, with a predominance of quantitative elements. It incorporates the following research types: documentary, exploratory,

lor, a través de incubar ideas, ensamblando recursos y haciendo que las cosas sucedan" (Kao, 1993).

A continuación, se presenta una síntesis de distintas aportaciones teóricas sobre el perfil del emprendedor, organizadas según diversos autores que han abordado el tema desde enfoques psicológicos, conductuales y funcionales (Cuadro 1).

Algunas de las investigaciones se han enfocado en identificar los factores que motivan a los individuos a iniciar una carrera en el emprendimiento, en lugar de enfocarse en actividades alternativas. En su modelo de carrera emprendedora Dyer (1995), identifica los siguientes componentes que describen los atributos de aquellos que fundan nuevas organizaciones: 1) antecedentes que influyen en la elección de la carrera, 2) la socialización de la carrera, 3) la orientación de la carrera y 4) la progresión de la carrera.

Dentro de los factores que influyen sobre la decisión de convertirse en emprendedor se encuentran los siguientes: a) individuales (que históricamente se han relacionado con factores psicológicos que estimulan a los individuos a iniciar una carrera emprendedora), b) sociales (relacionados con la infancia de los emprendedores y que los orillan a tomar el control de su entorno e imponer su voluntad) y c) económicos (como la falta de oportunidades de trabajo que orilla a los individuos a lanzar su carrera emprendedora, o el acceso a recursos productivos) (Dyer, 1995).

La socialización de la carrera puede presentarse por experiencias en los siguientes ámbitos: a) infancia temprana, b) trabajo, c) educación y d) el lanzamiento de negocios previamente. Sea que una persona se identifique a sí misma como emprendedor o no, si esa persona crea y se apropia de una organización, entonces ha aceptado el rol del emprendedor (Dyer, 1995).

Al caracterizar al emprendedor ruso, se emplearon las siguientes escalas: 1) necesidad de logro, 2) locus de control económico, 3) ética protestante de trabajo y 4) motivación intrínseca de trabajo (Green et al., 1996). En Estados Unidos, se midió: 1) la necesidad de logro, 2) preferencia por la innovación, 3) propensión a tomar riesgos y 4) impulso empresarial (Carland & Carland, 1997). También en Estados Unidos, se encontró utilidad en recolectar los siguientes datos de los emprendedores (Schiller & Crewson, 1997): 1) antecedentes socioeconómicos, 2) actitudes y aspiraciones, 3) inteligencia, 4) experiencias de entrena-

field, cross-sectional, non-experimental, and descriptive. The study design is a case study focusing on protected agriculture producers in the municipality of Tecozautla, Hidalgo. Data were collected using a questionnaire-based instrument administered through in-person interviews. Prior to its application, participants were informed about the study's objectives, and their consent was obtained for the statistical analysis of the information gathered.

In the first phase of the project, a literature review was conducted on the concept of the entrepreneur and the traits that define them. Based on this review, a set of 28 prominent traits characterizing entrepreneurs was identified. Three scales related to entrepreneurial traits were defined: (1) attitudes, which refer to personality and mindset (12 items: self-confidence, self-efficacy, opportunity seeking, internal control, creativity, initiative, innovation, change orientation, persistence, resilience, decision-making, and risk-taking); (2) skills, which are the competencies needed to start and manage a business (6 items: technology adoption, idea communication, business knowledge, identifying a need, leadership, and problem-solving); and (3) motivation, which includes the factors that drive individuals to start and manage a business (10 items: creating something of their own, creating jobs, being in charge, flexibility and independence, earning money, gaining status, managing people, family tradition, being an entrepreneur, and having a business idea). These traits were included in a 100-question survey.

The questionnaire was administered to producers between February and May 2023. To measure the items on the scales, a Likert scale ranging from 1 to 5 was used, with the following levels: (1) strongly disagree, (2) disagree, (3) neither agree nor disagree, (4) agree, and (5) strongly agree.

Subsequently, a reliability analysis was conducted to assess the internal consistency of the instrument. McDonald's ω coefficient was estimated, as it is suitable for ordinal data and less sensitive to data distribution; Cronbach's α coefficient was also calculated. McDonald's ω was estimated using a type of exploratory factor analysis (PFA). For Cronbach's α , an unstandardized estimation method was used. Confidence intervals were calculated using a nonparametric bootstrap with 3,000 samples in each case.

miento y percepciones, 5) logros académicos, 6) historial laboral detallado y 8) metas de largo plazo.

Un estudio más reciente, que evalúa relación entre la cultura y rasgos de personalidad asociados con motivación empresarial, separa dichos rasgos en cuatro categorías: 1) innovación, 2) propensión al riesgo, 3) locus de control interno y 4) nivel de energía (Thomas & Mueller, 2000). Otra contribución ha separado los siguientes siete rasgos: 1) originalidad, 2) proactividad y asunción de riesgos, 3) resiliencia, 4) gestión de tiempos y energías, 5) libertad, 6) sociabilidad y buena comunicación y 7) creación de imágenes (Rodríguez-López & Borges-Gómez, 2018). En México, se han analizado los rasgos del emprendedor, separando a la población por sexo biológico (Flores-Rueda et al., 2021).

Enfoque metodológico

El enfoque metodológico de este estudio es mixto, con predominancia del componente cuantitativo. Integra elementos de los siguientes tipos de investigación: documental, exploratorio, de campo, transversal, no experimental y descriptiva. El diseño adoptado corresponde a un estudio de caso, centrado en los productores de agricultura protegida del municipio de Tecozautla, Hidalgo.

Para la recolección de datos se utilizó un instrumento tipo cuestionario aplicado mediante la técnica de entrevista presencial. Previo a su aplicación, se informó a los participantes sobre los objetivos del estudio y se obtuvo su consentimiento para el análisis estadístico de la información recabada.

En la primera fase del proyecto se realizó una revisión de literatura sobre el concepto de emprendedor y los rasgos que lo definen. Con base en esta revisión, se identificaron 28 rasgos sobresalientes que caracterizan a los emprendedores. Se definieron tres escalas relacionadas con los rasgos del emprendedor: 1) actitudes, que se relacionan con su personalidad y forma de pensar (con 12 ítems: autoconfianza, autoeficacia, búsqueda de oportunidades, control interno, creatividad, iniciativa, innovación, orientación al cambio, persistencia, resiliencia, toma de decisiones y toma de riesgos), 2) habilidades, que son las competencias necesarias para iniciar y gestionar un negocio (Con 6 ítems: adopción de tecnología, comunicación de ideas, conocimiento de los negocios, identificar una necesidad, liderazgo y resolver un problema) y 3)

As the results of the reliability analysis were acceptable in a refined version of the instrument, an exploratory factor analysis (EFA) was conducted to identify the underlying factors explaining the variation in the entrepreneurial profile items. The number of factors was determined through parallel analysis based on principal components. Both the reliability analysis and the EFA were conducted using the open-source software JASP (JASP Team, 2023).

Results

The results section is presented in four parts, aligned with the specific and general objectives of this study. The first addresses the appropriateness of using the term “entrepreneur” to characterize protected agriculture producers in Tecozautla. The second outlines the economic significance of greenhouses in the municipality. The third provides a sociodemographic profile of the producers. Finally, the fourth presents the results of the assessment of entrepreneurial personality traits.

Is the protected agriculture producer an entrepreneur?

The concept of the entrepreneur has been used for over two hundred years; however, the term has undergone numerous extensions, reinterpretations, and revisions (Bull & Willard, 1993). Contemporary economic theory recognizes entrepreneurship—sometimes referred to as managerial or entrepreneurial ability—on par with land, labor, and capital as a factor of production (Hébert & Link, 1989).

One of the first significant writers to use the term “entrepreneur” in a modern sense was Richard Cantillon (1680–1743). Cantillon identified three types of economic agents in 18th-century European economies: landowners, entrepreneurs, and wage earners. In this context, entrepreneurs carried out all production, circulation, and exchange activities, participating in the market at their own risk in pursuit of profit (Hébert & Link, 2006a). For Cantillon, entrepreneurs recognized that discrepancies between supply and demand created opportunities to buy cheaply and sell at higher—albeit uncertain—prices (Murphy et al., 2006). They innovated to enhance their role as intermediaries in at least two ways: (1) by managing the circulation of goods, based on the notion that consumers are willing to pay a premium for small quantities

motivación, que son factores que lo impulsan a iniciar y gestionar un negocio (con 10 ítems: crear algo propio, crear empleos, estar a la cabeza, flexibilidad e independencia, ganar dinero, ganar estatus, manejar personas, tradición familiar, ser emprendedor y tener una idea del negocio). Estos rasgos se incluyeron en un cuestionario de 100 preguntas.

El cuestionario se aplicó a los productores entre los meses de febrero y mayo de 2023. Para medir los ítems de las escalas, se aplicó una escala de Likert con valoración del 1 al 5, con los siguientes niveles: 1) totalmente en desacuerdo, 2) en desacuerdo, 3) ni de acuerdo, ni en desacuerdo, 4) de acuerdo y 5) totalmente de acuerdo.

Posteriormente, se realizó un análisis de fiabilidad para evaluar la consistencia interna del instrumento. Se estimó el coeficiente ω de McDonald, ya que es adecuado para datos ordinales y es menos sensible a su distribución; aunque también se calculó el coeficiente α de Cronbach.

Para la estimación de la ω de McDonald se empleó un tipo de análisis factorial exploratorio (PFA). En el caso del α de Cronbach, se empleó un método de estimación no tipificado. En la estimación de los intervalos de confianza se empleó un bootstrap no paramétrico con 3 000 muestras en cada caso.

Como los resultados del análisis de fiabilidad fueron aceptables en una versión depurada del instrumento, se procedió a realizar un análisis factorial exploratorio (AFE) para identificar los factores subyacentes que explican la variación de los ítems del perfil emprendedor. El número de factores se determinó mediante un análisis paralelo basado en componentes principales. El análisis de fiabilidad y el AFE se realizaron con el programa de código abierto JASP (JASP Team, 2023).

Resultados

El apartado de resultados se presenta en cuatro secciones, de acuerdo con los objetivos específicos y el general de esta contribución. En la primera sección se expone la idoneidad de usar el término emprendedor para caracterizar a los productores de agricultura protegida de Tecozautla. En la segunda se expone la importancia económica de los invernaderos en el municipio. En la tercera se realiza la descripción sociodemográfica de los productores.

rather than store large volumes; and (2) through arbitrage, generating time and place utility by relocating goods from areas of lower use value to those of higher use value.

Farmers were the primary producers in Cantillon's time, and he defined them as entrepreneurs who paid a fixed sum of money to landowners for the use of land. The farmer decided how to allocate this land among alternative uses, without knowing whether those uses would generate profit. In doing so, they placed themselves at risk due to factors such as changing weather conditions and market demand. In this way, Cantillon established an explicit link between entrepreneurship and risk. Moreover, to the extent that intermediaries also face uncertainty in the marketplace—by bringing production to final consumers—they too are considered entrepreneurs from Cantillon's perspective (Hébert & Link, 2006a).

François Quesnay (1694–1774) distinguished between small-scale and large-scale agriculture. He portrayed the entrepreneur as the person leading the latter, managing and seeking profitability in the business by applying intelligence and capital. In this view, the entrepreneur is the owner of an independent business who leases land from landowners to carry out agricultural activities (Hébert & Link, 2006a). At this point in history, property and social status were no longer seen as essential elements for engaging in entrepreneurial activities, unlike other factors such as innovation and coordination (Murphy et al., 2006). A disciple of Quesnay, Nicholas Baudeau (1730–1792), expanded the idea of the agricultural entrepreneur as a risk-taker by adding the capacity for innovation and organization to the definition. In Baudeau's view, the entrepreneur pursues two goals in productive endeavors: (1) to increase yields as much as possible and (2) to reduce labor requirements in order to lower costs. Innovation, in this context, may involve adopting technologies developed by others to boost agricultural output or developing new technologies independently. In either case, innovation leads to productivity gains and often to the substitution of labor with capital (Feldman et al., 2002, p. 43). Baudeau emphasized the entrepreneur's intelligence, which he defined as the ability to gather and process knowledge and information. Combined with the capacity to act, intelligence is used to creati-

Finalmente, en la quinta se presentan los resultados de la evaluación de los rasgos de personalidad emprendedora.

¿El productor de agricultura protegida es un emprendedor?

El concepto de emprendedor ha sido empleado por más de doscientos años; sin embargo, el término ha sido sujeto de múltiples extensiones, reinterpretaciones y revisiones (Bull & Willard, 1993). La teoría económica contemporánea reconoce al emprendimiento, algunas veces referida como habilidad empresarial, al mismo nivel que la tierra, el trabajo y el capital, como factor de la producción (Hébert & Link, 1989).

El primer escritor significativo en hacer uso frecuente del término emprendedor, en una forma moderna, fue Richard Cantillon (1680-1743). Cantillon reconoció tres clases de agentes económicos en la economía europea del siglo XVIII: los terratenientes, los emprendedores y los asalariados. En dicha economía, los emprendedores realizan toda la producción, circulación e intercambios, y participan en el mercado bajo su propio riesgo en la búsqueda de una ganancia (Hébert & Link, 2006a). Para este autor, el emprendedor conoce que las discrepancias entre la oferta y la demanda representan opciones para comprar barato y vender a un precio más alto, aunque incierto (Murphy et al., 2006). En este caso, el emprendedor innova para mejorar su estatus de intermediario en al menos dos maneras: 1) gestionando la circulación de bienes, basándose en el hecho de que los consumidores prefieren pagar un extra por pequeñas cantidades en lugar de almacenar grandes cantidades y 2) a través del arbitraje, creando utilidad de tiempo y lugar moviendo bienes de un lugar de bajo valor de uso, a uno de alto valor de uso (Hébert & Link, 2006b).

Los granjeros eran los principales productores en los tiempos de Cantillon, a los que definió como emprendedores que pagaban una suma fija de dinero a los terratenientes por hacer uso de la tierra. El granjero decide cómo asignar dicha tierra entre usos alternativos, sin estar seguro sobre si dichos usos generarán ganancias; de esta manera, se pone a sí mismo en una situación de riesgo debido a los cambios del clima y de la demanda. Así, Cantillon creó un vínculo explícito entre el emprendimiento y el riesgo. Además, en la medida en que los intermediarios enfren-

vely reduce risk, making the entrepreneur an active agent with a degree of control over their activities (Hébert & Link, 2006b).

Anne Robert Jacques Turgot (1727–1781) took the definition of the entrepreneur's role a step further by distinguishing capital ownership as a separate economic function in business. According to Turgot, the capitalist is the owner of accumulated funds that can be used in one of two ways: (1) to invest in an activity carried out personally or (2) to lend to others. If choosing the first option, the next decision involves whether to invest in land, manufacturing, or commerce. Purchasing land makes the individual a landowner and a capitalist; acquiring the necessary goods for the other options makes them an entrepreneur and a capitalist. If they choose to lend their funds, they remain solely a capitalist. For Turgot, only capitalists can become entrepreneurs—if they so choose and if their involvement yields an additional reward. Thus, the distinguishing feature of Turgot's entrepreneur is not ownership of capital but the exertion of labor: the entrepreneur seeks a distinctive return from their own work (Hébert & Link, 2006a). Jean-Baptiste Say (1767–1832) identified innovation as the entrepreneur's most important characteristic, viewing entrepreneurs as individuals capable of: (1) doing new things, (2) achieving more with less, and (3) gaining more by doing something new or in a different way (Filion, 2021, p. 74). Say positioned the entrepreneur as the pivot of the entire production and distribution system—that is, as an intermediary who organizes and combines the means of production to adapt knowledge generated by researchers and produce practical goods (Landström, 2005, p. 29). Say's entrepreneur is a superintendent and manager, requiring a combination of judgment, perseverance, knowledge of the world and business, and the ability to anticipate customer needs and the means to meet them (Hébert & Link, 2006a).

Adam Smith's (1723–1790) entrepreneur is an ordinary type—someone prudent, exercising self-control in economic activities while seeking the approval of others. Smith recognized the effects of innovation in a capitalist economy and was, in fact, the first to identify innovation as a professional activity. For Smith, innovation results from the division of labor, which is itself influenced by the size of the market. In

tan incertidumbre en el mercado (al llevar la producción hasta los consumidores finales) ellos también son emprendedores desde la perspectiva de este autor (Hébert & Link, 2006a).

François Quesnay (1694–1774), realizó una distinción entre pequeña agricultura y agricultura a gran escala. Este autor presenta al emprendedor como la persona al frente del segundo tipo de agricultura y como alguien que administra y busca la rentabilidad de su negocio haciendo uso de su inteligencia y su riqueza. En este caso, el emprendedor es el propietario de un negocio independiente, que renta a los propietarios de la tierra la superficie necesaria para llevar a cabo su actividad (Hébert & Link, 2006a). En este punto de la historia, la propiedad y el estatus en el orden social no siempre se veían como elementos necesarios para la realización de actividades de emprendimiento, a diferencia de otros elementos como la innovación y la coordinación (Murphy et al., 2006).

Un discípulo de Quesnay, Nicholas Baudeau (1730–1792), expandió la idea del emprendedor agrícola como una persona que asume riesgos, añadiendo a su descripción la capacidad de ser innovador y organizador. Así, el emprendedor es un agente con dos metas en las iniciativas productivas: 1) incrementar la cantidad cosechada cuantas veces sea posible y 2) reducir la cantidad de trabajo de manera que los costos se reduzcan lo más posible. En este caso, la innovación puede manifestarse como la adopción de tecnología desarrollada por otros para incrementar la producción agrícola, o el desarrollo propio de dicha tecnología. En cualquier caso, la innovación traerá consigo incrementos en la productividad y una probable sustitución de trabajo por capital (Feldman et al., 2002, p. 43). Baudeau resaltó la inteligencia del emprendedor, entendida como la habilidad de reunir y procesar conocimiento e información. Sumada a la habilidad para actuar, la inteligencia se utiliza para tratar de reducir el riesgo de manera creativa, lo que convierte al emprendedor en un agente activo con un grado de control sobre sus actividades (Hébert & Link, 2006b).

Anne Robert Jacques Turgot (1727–1781), dio un paso más adelante en la definición de la función del emprendedor, al distinguir que la propiedad del capital es una función económica distinta en los negocios. Para este autor, el capitalista es el propietario de fondos acumulados de valor con los que puede rea-

turn, market size can be expanded through cheaper means of transportation (Hébert & Link, 2006a).

Jeremy Bentham's (1748–1832) innovator—referred to in his time as a “projector”—is characterized as an exceptional individual who departs from routine patterns of behavior and, in doing so, discovers new markets, new sources of inputs, improves existing products, or reduces production costs. For Bentham, innovation is the driving force behind humanity's progress (Hébert & Link, 2006a), and the projector, in pursuit of wealth, opens new channels for invention (Hébert & Link, 2006b).

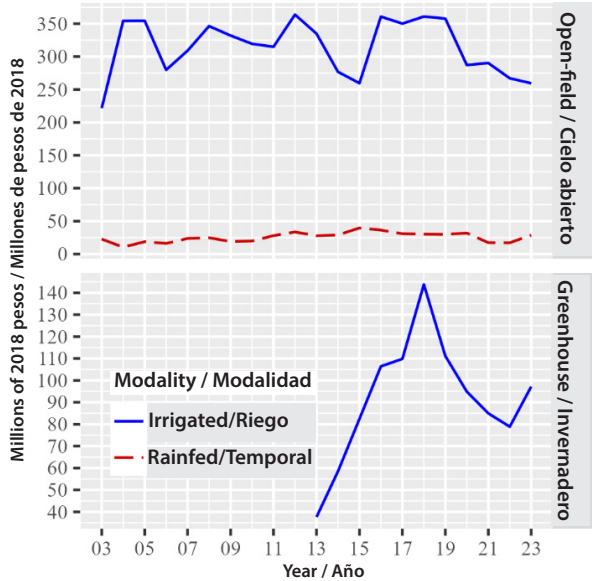
Joseph Alois Schumpeter (1883–1950) was one of the first to identify the entrepreneur as a subject worthy of study. His definition has gained recognition in both academic and public policy arenas. According to Schumpeter, the entrepreneur creates value by undertaking new combinations that produce discontinuities. These new combinations may involve: (1) introducing a new good or a new quality of a good, (2) introducing a new method of production, (3) opening a new market, (4) securing a new source of raw materials, or (5) reorganizing any industry (Carland et al., 1984). In this view, the entrepreneur is seen as a leader who contributes to the process of creative destruction, which drives economic development (Hébert & Link, 1989); that is, the entrepreneur innovates to increase marginal productivity and profits when the economy is in a stationary state (Hisrich, 1990).

In sum, protected agriculture producers in Tecozautla can be considered entrepreneurs. On the one hand, they are willing to take on climate-related and market fluctuation risks to meet identified needs through food production. On the other hand, by adopting technology and new inputs, they demonstrate innovation and organizational capacity, seeking creative ways to reduce risks, lower costs, and optimize the use of productive resources while increasing productivity. Additionally, they pursue profitability by managing their operations to maximize returns through the allocation of resources among alternative uses. Finally, they act as agents of change, introducing new combinations into the agricultural economy and contributing to regional economic development—whether through capital investment or their own labor—in the pursuit of wealth and peer recognition.

lizar una de dos alternativas: 1) invertirlos en alguna actividad que realice personalmente o 2) prestarlos a otros. Si opta por la primera, la siguiente decisión que debe tomar es decidir si invertir en tierra, manufactura o comercio. Si compra tierra, se convierte en terrateniente y capitalista. Si adquiere los bienes necesarios para realizar alguna de las otras alternativas, se convierte en un emprendedor y capitalista. Si prefiere prestar sus fondos, permanece como capitalista solamente. Para Turgot, solo los capitalistas pueden ser emprendedores, si así lo consideran necesario y si al involucrarse obtienen una recompensa adicional por su participación. De esta manera, la característica distintiva del emprendedor de Turgot no es el capital, sino el trabajo: el emprendedor busca en su propio trabajo su retorno distintivo (Hébert & Link, 2006a).

Por su parte, Jean-Baptiste Say (1767-1832), identificó a la innovación como la característica más importante del emprendedor, ya que consideraba que los emprendedores eran personas que podían: 1) hacer nuevas cosas, 2) hacer más con menos y 3) obtener más haciendo algo nuevo o en una manera diferente (Filion, 2021, p. 74). Say presentó al emprendedor como el pivote de todo el sistema de producción y distribución; es decir, como un intermediario que organiza y combina medios de producción para adaptar el conocimiento generado por investigadores y producir bienes útiles (Landström, 2005, p. 29). El emprendedor de Say es un superintendente y un administrador, lo que requiere una combinación de juicio, perseverancia, conocimiento del mundo y de los negocios, con la capacidad para estimar las necesidades de los clientes y los medios para satisfacerlas (Hébert & Link, 2006a).

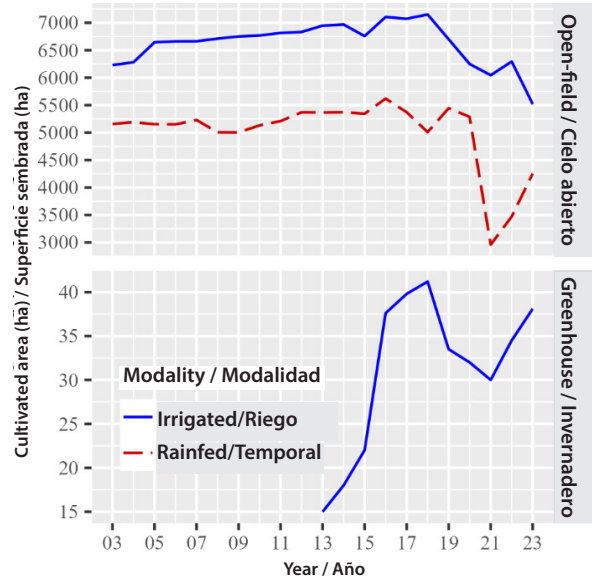
El emprendedor de Adam Smith (1723-1790) es de un tipo común, que puede describirse como una persona prudente que ejerce su autocontrol durante el desarrollo de actividades económicas, buscando la aprobación de sus semejantes. Este autor percibió los efectos de la innovación en una economía capitalista; de hecho, fue el primero en reconocer a la innovación como una actividad profesional. Para Smith, la innovación es el producto de la división del trabajo, que a su vez se ve afectada por el tamaño del mercado. Por su parte, el tamaño del mercado puede incrementarse mediante medios de transporte más baratos (Hébert & Link, 2006a).



Source: Authors' own elaboration based on SIACON (2024).
Fuente: Elaboración propia con base en el SIACON (2024).

Figure 1. Production value by type of agriculture and modality in Tecozautla.

Figura 1. Valor de la producción por tipo de agricultura y modalidad en Tecozautla.



Source: Authors' own elaboration based on SIACON (2024).
Fuente: Elaboración propia con base en el SIACON (2024).

Figure 2. Cultivated area by type of agriculture and modality in Tecozautla.

Figura 2. Superficie sembrada por tipo de agricultura y modalidad en Tecozautla.

Economic importance of protected agriculture in Tecozautla.

According to official data, Tecozautla produced only two greenhouse crops between 2013 and 2023: bell pepper (since 2013) and saladette toma-to (since 2016). The municipality has no cultivated area under other protected agriculture systems. In 2023, green bell pepper accounted for 82.94 % of the cultivated area, compared to 17.06 % for red saladette tomato (SIACON, 2024). In terms of production value, protected agriculture has generated more real value per unit of area (adjusted using the Consumer Price Index, base: second half of July 2018) than open-field agriculture, considering the following: (1) spring–summer, fall–winter, and perennial cycles; (2) organic and conventional production; and (3) irrigated and rainfed modalities (Figure 1).

The higher productivity of greenhouses may help offset the decline in rainfed cultivated areas observed in the municipality since 2020 (Figure 2). In this context, protected agriculture emerges as a viable alternative to support food production amid climate change. Furthermore, it has been shown that

La característica del innovador (conocido como proyectista en su época) de Jeremy Bentham (1748-1832), es ser un individuo excepcional, que se separa de patrones rutinarios de comportamiento y que, en el proceso, descubre nuevos mercados, nuevas fuentes de insumos, mejora los productos existentes o reduce los costos de producción. Para este autor, la innovación es la fuerza que conduce el desarrollo de la humanidad (Hébert & Link, 2006a) y el proyectista, en su búsqueda de riqueza, encuentra nuevos canales de invención (Hébert & Link, 2006b).

Finalmente, Joseph Alois Schumpeter (1883-1950), fue de los primeros en identificar al emprendedor como una entidad susceptible de estudio. De hecho, su definición ha sido reconocida en los terrenos académicos y de políticas públicas. Este autor estableció que el emprendedor crea valor llevando a cabo nuevas combinaciones que causan discontinuidades. Estas nuevas combinaciones pueden manifestarse al: 1) introducir un nuevo bien o una nueva cualidad para un bien, 2) introducir un nuevo método de producción, 3) abrir un nuevo mercado, 4) obtener una nueva fuente de materias primas y 5) la reorganización de cualquier industria (Carland et al., 1984). De

Table 2. Sociodemographic characteristics of protected agriculture producers.
Cuadro 2. Características sociodemográficas de los productores de agricultura protegida.

Variable	Levels / Niveles	Population / Poblacion	
		Count / Conteo	Percentage / Porcentaje
Biological sex / Sexo Biológico	Man / Hombre	27	69.23
	Woman / Mujer	12	30.77
Age range at the time of greenhouse establishment / Rango de edad al establecimiento de invernaderos	[20-30)	16	41.03
	[30-40)	14	35.90
	[40-50)	8	20.51
	[50-60)	1	2.56
Educational attainment / Escolaridad	Middle school / Secundaria	13	33.33
	High school / Bachillerato	15	38.46
	University / Universidad	11	28.21
Marital status / Estatus material	Married / Casado/a	26	66.67
	Divorced / Divorciado/a	1	2.56
	Single / Soltero/a	6	15.38
	In a domestic partnership / Unión Libre	6	15.38
Reason for starting a greenhouse operation / Motivo para emprender en el establecimiento de invernaderos	Practices their profession / Ejercer su profesión	2	5.13
	Likes it / Le gusta	4	10.26
	Learned it elsewhere / Lo aprendió en otro lugar	5	12.82
	To improve income / Mejorar el ingreso	28	71.79
Received funding for greenhouse construction / Recibió financiamiento para la construcción del invernadero	No	24	61.54
	Yes /Sí	15	38.46

Source: Authors' own elaboration based on field information, 2023.
Fuente: Elaboración propia con base en información de campo, 2023.

income can be higher in successful projects of this kind, and that the activity is profitable in the state of Hidalgo (Terrones-Cordero, 2019; Terrones-Cordero & Sánchez-Torres, 2011).

Sociodemographic profile of protected agriculture producers

A 100 % response rate was obtained from the population of protected agriculture producers in Tecozautla, consisting of 39 individuals. Their average age at the time of the survey was 43.59 years, and they were, on average, 32.67 years old when they established their production units (Table 2).

esta manera, el emprendedor es visto como un líder que contribuye en el proceso de destrucción creativa, que es la causa del desarrollo económico (Hébert & Link, 1989); es decir, el emprendedor es el que innova para incrementar la productividad marginal y las ganancias, cuando la economía se encuentra en un estado estacionario (Hisrich, 1990).

En suma, los productores de agricultura protegida de Tecozautla pueden ser considerados como emprendedores. Por un lado, están dispuestos a asumir riesgos climáticos y de fluctuaciones en los mercados para satisfacer necesidades identificadas, a partir de la producción de alimentos. Por otro lado, al adoptar

Table 3. Reliability estimates for the instrument scales.
Cuadro 3. Estimación de confiabilidad para las escalas del instrumento.

Scale / Escala	Original instrument / Instrumento original			Refined instrument / Instrumento depurado		
	ω	α	Items	ω	α	Items
Attitudes / Actitudes	0.756	0.748	12	0.780	0.774	9
Skills / Habilidades	0.653	0.642	6	0.693	0.690	3
Motivations / Motivaciones	0.711	0.695	10	0.748	0.736	5

Source: Authors' own elaboration based on field data, 2023.
Fuente: Elaboración propia con base en información de campo, 2023.

Entrepreneurial Profile of protected agriculture producers in Tecozautla

This study identified 28 traits that characterize entrepreneurs. These traits were grouped into three scales related to key aspects of entrepreneurship: attitudes, skills, and motivations. The attitudes scale focuses on the entrepreneur's personality and mindset. The skills scale covers the competencies needed to start and manage a business. Finally, the motivations scale explores the factors that drive the entrepreneur to achieve their goals.

The reliability analysis results show that the overall instrument is acceptable, with a McDonald's ω of 0.852 and a Cronbach's α of 0.850 (i.e., for the 28 items and 39 participants). These values indicate that the scale is consistent and reliably measures the intended construct. The 95 % confidence interval for ω ranges from 0.574 to 0.911, and for α from 0.561 to 0.916. These intervals suggest that the reliability of the scale is robust and unlikely to be affected by random variations in the sample. This indicates that the protected agriculture producers in Tecozautla clearly exhibit traits typical of the entrepreneurial profile.

The results of the internal consistency assessment of the scales indicate that the instrument is valid and consistent for measuring entrepreneurial attitudes, skills, and motivations. However, each scale was refined by eliminating items to maximize McDonald's ω . Internal consistency improved across all scales (Table 3).

The reliability analysis of the refined global scale shows that it is acceptable, with a McDonald's ω of 0.852 and a Cronbach's α of 0.849 (for the 17 selected items and 39 participants). The refined scale is consistent and reliably measures the intended construct. The 95 % confidence interval for ω ranges from 0.375 to 0.924, and for α from 0.582 to 0.919. Explora-

tecnología y nuevos insumos, muestran capacidad de innovación y de organización, pues buscan formas creativas para reducir riesgos, costos y el uso de recursos productivos, al mismo tiempo que buscan incrementar la productividad. Adicionalmente, buscan rentabilidad, pues administran sus operaciones para maximizar los beneficios al asignar recursos entre usos alternativos. Finalmente, actúan como agentes de cambio, introduciendo nuevas combinaciones en la economía agrícola y contribuyendo al desarrollo económico regional, sea por medio de su capital o de su propio trabajo, en la búsqueda de riqueza y del reconocimiento de sus semejantes.

Importancia económica de la agricultura protegida en Tecozautla.

De acuerdo con la información oficial, Tecozautla solo ha producido dos cultivos entre 2013 y 2023 bajo invernadero: chile morrón (desde 2013) y tomate saladette (desde 2016). El municipio no cuenta con superficie sembrada para otras modalidades de agricultura protegida. En 2023 el chile verde morrón concentró el 82.94 % de la superficie, contra el 17.06 % del tomate rojo saladette (SIACON, 2024). En cuanto al valor de la producción, en términos reales la agricultura protegida ha generado más valor por unidad de superficie (deflactado con el Índice de Precios al Consumidor, base 2ª quincena de julio 2018), comparada con la agricultura a cielo abierto, considerando: 1) ciclo primavera-verano, otoño-invierno y perennes, 2) producción orgánica y convencional y 3) modalidad riego y temporal (Figura 1).

La mayor productividad de los invernaderos puede ayudar a compensar la caída en la superficie sembrada bajo temporal observada a partir del 2020 en el municipio (Figura 2). En este sentido, la agricultura

Table 4. Factor Loadings.
Cuadro 4. Cargas de los factores.

Item	Factor 1	Uniqueness /Unicidad
Self-efficacy / Autoeficacia	0.737	0.457
Business knowledge / Conocimiento de los negocios	0.697	0.514
Internal locus of control / Control interno	0.632	0.601
Persistence / Persistencia	0.594	0.648
Problem-solving / Resolver un problema	0.569	0.676
Being entrepreneurial / Ser emprendedor	0.520	0.730
People management / Manejar personas	0.496	0.754
Gaining status / Ganar estatus	0.493	0.757
Identifying a need / Identificar una necesidad	0.487	0.763
Innovation / Innovación	0.466	0.783
Decision-making / Toma de decisiones	0.456	0.792
Taking the lead / Estar a la cabeza	0.453	0.795
Initiative / Iniciativa	0.437	0.809
Self-confidence / Autoconfianza	0.431	0.814
Change orientation / Orientación al cambio	0.400	0.840
Resilience / Resiliencia	0.339	0.885
Creating something of one's own / Crear algo propio		0.941

Note. The rotation method applied was Promax. /

Nota. El método de rotación aplicado es Promax.

Source: Authors' own elaboration based on field data, 2023.

Fuente: Elaboración propia con base en información de campo, 2023.

tory factor analysis was conducted using the refined scale. The results did not reveal a factorial structure corresponding to the instrument's three scales, but rather a single factor that explains 26.1 % of the total variance in the data. Factor loadings were filtered using values greater than 0.30 (Table 4).

The Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) measure of sampling adequacy was 0.600, indicating that the data are suitable for factor analysis. Bartlett's test of sphericity yielded a p-value of < 0.001, confirming that the variables are correlated and thus appropriate for factor analysis. The chi-square statistic was 174.824 with 119 degrees of freedom and a p-value of < 0.001, suggesting that the factor model fits the data well. In the unrotated solution, the factor explains 26.1 % of the total variance. In the rotated solution, the proportion of variance explained by the factor remains the same (Table 5). The results are consistent with those from the reliability analysis.

Among Tecozautla producers, the highest-rated entrepreneurial traits in the refined scale were initiative, creating something of their own, and decision-making (Table 6).

protegida se convierte en una alternativa para apuntalar la producción de alimentos en un contexto de cambio climático. Por otro lado, ya se ha demostrado que los ingresos pueden ser mayores en los proyectos exitosos de este tipo y que la actividad es rentable en el estado de Hidalgo (Terrones-Cordero, 2019; Terrones-Cordero & Sánchez-Torres, 2011).

Descripción sociodemográfica de los productores de agricultura protegida

Se obtuvo una respuesta del 100 % entre la población de productores de agricultura protegida de Tecozautla, conformado por 39 personas. El promedio de edad del grupo es de 43.59 años al momento de la encuesta y de 32.67 años al momento de establecer la unidad productiva (Cuadro 2).

Perfil emprendedor de los productores de agricultura protegida de Tecozautla

En este trabajo se identificaron 28 rasgos que caracterizan a los emprendedores. Estos rasgos se agruparon en tres escalas relacionadas con los aspectos clave del emprendimiento: actitudes, habilidades y

Table 5. Characteristics of Factor 1.
Cuadro 5. Características del factor 1.

Unrotated Solution / Solución no rotada				Rotated Solution / Solución rotada		
Eigenvalues / Autovalores	Sum of Squared Loadings / Sumas de cargas al cuadrado	Proportion of Variance / Proporción varianza	Cumulative / Acumulativo	Sum of Squared Loadings / Sumas de cargas al cuadrado	Proportion of Variance / Proporción varianza	Cumulative / Acumulativo
5.129	4.443	0.261	0.261	4.443	0.261	0.261

Source: Authors' own elaboration based on field, 2023.
Fuente: Elaboración propia con base en información de campo, 2023.

Table 6. Entrepreneurial profile traits of protected agriculture producers.
Cuadro 6. Rasgos del perfil emprendedor de los productores de agricultura protegida.

Item	ω if deleted/ ω si se elimina	α if deleted/ α si se elimina	Item-total correlation/ Correlación con el resto	Mean / Media	Std. dev. / Desv. est.
Initiative / Iniciativa	0.847	0.844	0.394	4.564	0.552
Creating something of their own / Crear algo propio	0.852	0.85	0.231	4.513	0.556
Decision-making / Tomar decisiones	0.847	0.843	0.399	4.462	0.600
Gaining status / Ganar estatus	0.844	0.84	0.474	4.436	0.754
Being an entrepreneur / Ser emprendedor	0.843	0.838	0.508	4.436	0.641
Innovation / Innovación	0.846	0.843	0.415	4.410	0.751
Self-efficacy / Autoeficacia	0.834	0.831	0.652	4.385	0.711
Identifying a need / Identificar una necesidad	0.845	0.841	0.449	4.359	0.668
Being in charge / Estar a la cabeza	0.848	0.844	0.405	4.359	0.843
Self-confidence / Autoconfianza	0.847	0.843	0.410	4.308	0.731
Persistence / Persistencia	0.840	0.837	0.537	4.282	0.724
Internal locus of control / Control interno	0.839	0.836	0.549	4.256	0.818
Change orientation / Orientación al cambio	0.848	0.844	0.398	4.205	0.732
Problem-solving / Resolver un problema	0.840	0.837	0.532	4.205	0.767
Managing people / Manejar personas	0.843	0.839	0.483	4.205	0.732
Business knowledge / Conocimiento de los negocios	0.835	0.832	0.624	4.154	0.745
Resilience / Resiliencia	0.852	0.848	0.315	4.000	0.795

Note: Std. Dev. / Standard deviation.
Nota: Desv. est. / Desviación estándar.

Source: Authors' own elaboration based on field data, 2023.
Fuente: Elaboración propia con base en información de campo, 2023.

Discussion

Among the sociodemographic variables studied, most producers were under 60 years old when they began their entrepreneurial activities. These findings are consistent with studies conducted in Mexico (Pérez-Paredes et al., 2019) and in the field of agricultural entrepreneurship (García & González, 2013). The majority of producers are male, a pattern also observed in other studies on entrepreneurship in the primary

motivaciones. La escala de actitudes se centra en la personalidad y la forma de pensar del emprendedor. La escala de habilidades abarca competencias necesarias para iniciar y gestionar un negocio. Finalmente, la escala de motivaciones explora los factores que impulsan al emprendedor a realizar sus objetivos. Los resultados del análisis de confiabilidad muestran que el instrumento global es aceptable con ω McDonald de 0.852 y un α de Cronbach de 0.850 (es decir,

sector (García & González, 2013; Jaramillo-Villanueva et al., 2013). Finally, more than half of the producers are married and tend to have higher levels of education (Martínez-Gómez, 2016).

A total of 61.54 % of producers in Tecozautla did not receive financing for greenhouse construction. This aligns with the notion that, in Mexico, policy in this area has been designed for a business-oriented producer profile—one that relies more on individual capital, skills, and capabilities than on government support (Hernández-Suárez, 2020).

The most frequently cited reason for establishing greenhouses in the municipality was to improve income. This aspiration has already been recognized among Latin American entrepreneurs (Martínez-Gómez, 2016). In this regard, greenhouse production has proven profitable in Hidalgo, even when destined for the domestic market (Terrones-Cordero, 2019; Terrones-Cordero & Sánchez-Torres, 2011). In Tecozautla, there are cases of producers who have reached a level of competitiveness sufficient to export their production to the United States.

The main factors driving the efficient use and adoption of innovations in agriculture in Hidalgo are education level, experience in the activity, and access to extension services. Among these variables, experience is the most significant (Vargas-Canales et al., 2018). Nonetheless, government support remains essential. The limited available information on the transfer and implementation of this technology in Hidalgo—as well as on the management strategies of production units—has hindered the development of effective strategies to mitigate the negative impacts on the industry (Vargas-Canales et al., 2018).

The EFA results are favorable, as the refined scale is unidimensional. This indicates that the scale measures a single construct, making interpretation more straightforward. The items show high factor loadings, reflecting a strong relationship with the underlying factor and confirming the scale's reliability. The selected items relate to perceived competence, management capacity, determination, the ability to identify and solve problems, entrepreneurial vision, the ability to manage people, achievement motivation, and sensitivity to opportunities. In a similar study, the scales for self-efficacy, autonomy, innovation, internal locus of control, achievement motivation,

para los 28 ítems y los 39 participantes). Estos valores indican que la escala es consistente y que mide de manera fiable el constructo que pretende medir. El intervalo de confianza del 95 % para el ω va de 0.574 a 0.911 y para el α va de 0.561 a 0.916. Estos intervalos indican que la confiabilidad de la escala es robusta y que es poco probable que se vea afectada por cambios aleatorios en la muestra. Lo anterior revela que los productores de agricultura protegida de Tecozautla manifiestan de manera clara rasgos típicos del perfil emprendedor.

Los resultados de la evaluación de la consistencia interna de las escalas indican que el instrumento es válido y consistente para medir las actitudes, habilidades y motivaciones del emprendedor. Sin embargo, se llevó a cabo una depuración de cada una de las escalas, suprimiendo los ítems hasta obtener el máximo índice ω de McDonald posible. La consistencia interna de las escalas se incrementó en todos los casos (Cuadro 3).

Los resultados del análisis de confiabilidad de la escala global depurada muestran que la escala es aceptable, con un ω de 0.852 y un α de 0.849 (para los 17 ítems elegidos y los 39 participantes). La escala depurada es consistente y mide de manera fiable el constructo que pretende medir. El intervalo de confianza del 95 % para el ω va de 0.375 a 0.924 y para el α va de 0.582 a 0.919. El análisis factorial exploratorio se realizó con la segunda escala. Los resultados no arrojaron una estructura factorial que correspondiera con las tres escalas del instrumento, sino un solo factor que explica el 26.1 % de la varianza total de los datos. Las cargas factoriales se filtraron a partir de valores superiores a 0.30 (Cuadro 4).

El índice de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) fue de 0.600; esto indica que los datos son adecuados para un análisis factorial. A su vez, el contraste de Bartlett arrojó un valor de $P < 0.001$, lo que indica que los datos están correlacionados y, por lo tanto, son adecuados para un análisis factorial. Finalmente, el estadístico χ^2 arrojó un valor de 174.824, con 119 grados de libertad y un $P < 0.001$, lo que indica que el modelo factorial se ajusta bien a los datos. En la solución no rotada, el factor explica el 26.1 % de la varianza total. En la solución rotada, la proporción de varianza explicada por el factor es la misma (Cuadro 5). Los resultados son congruentes

optimism, stress tolerance, and risk-taking showed higher reliability levels than the attitude, skill, and motivation scales used in the present study (Becerra-Bizarrón & Castellón-Palacios, 2023).

Finally, official statistics indicate that only bell pepper and saladette tomato are produced under greenhouse conditions in Tecozautla. However, this study identified additional crops such as jalapeño pepper, cucumber, and roses. Moreover, only 66.7 % of producers have layout plans for their greenhouses—documentation that is essential for initiating certification processes that could enable access to better prices.

Conclusions

This study not only highlighted the relevance of characterizing greenhouse producers as entrepreneurs, but also recognized that the development of this concept is deeply intertwined with food production and distribution. The notions of risk and uncertainty have accompanied this development from the outset. Entrepreneurs are identified by specific traits—whether acquired through experience or inherent to their personality—that shape their decision to undertake a project.

The results of the exploratory factor analysis of the refined scale developed in this study indicate that it measures a single construct, referred to as the “entrepreneurial profile.” This construct consists of 17 attitudes, skills, and motivations historically associated with the entrepreneurial spirit. The items with the highest scores were initiative, the desire to build something of one’s own, enjoyment of decision-making, and the pursuit of status, with mean scores of 4.564, 4.513, 4.462, and 4.436, respectively.

The establishment of greenhouses in Tecozautla results from a combination of environmental, social, economic, and individual factors. Future research should examine the first three in greater detail to inform the design of strategies that maximize benefits within the limits of sustainable development.

Finally, this study helps bridge a double gap. On the one hand, it generates evidence on the individual factors that explain the adoption of protected agriculture in rural contexts. On the other, it provides an empirical basis for critically revisiting the use of analytical categories, such as the term “entrepreneur”, in agrarian studies and public policy design.

con los resultados del análisis de confiabilidad.

Para el caso de los productores de Tecozautla, los ítems o rasgos del emprendedor que obtuvieron un valor más elevado en la escala depurada fueron: iniciativa, crear algo propio y tomar decisiones (Cuadro 6).

Discusión

Dentro de las variables sociodemográficas estudiadas, se identificó que los productores tenían, en su mayoría, menos de 60 años al momento de comenzar su emprendimiento. Estos resultados están en consonancia con otros estudios realizados en México (Pérez-Paredes et al., 2019) o en emprendimientos agrícolas (García & González, 2013). La mayoría de los productores son del sexo masculino, circunstancia que también se ha identificado en otros estudios de emprendimiento en el sector primario (García & González, 2013; Jaramillo-Villanueva et al., 2013). Por último, se identificó que más de la mitad de los productores son casados y tienden a tener mayores niveles educativos (Martínez-Gómez, 2016).

El 61.54 % de los productores de Tecozautla indicó no haber recibido financiamiento para la construcción de los invernaderos. Esto coincide con la noción de que, en México, la política en la materia se diseñó para un perfil de productores de tipo empresarial, que dependen más de su propio capital, capacidades y habilidades, que de los apoyos gubernamentales (Hernández-Suárez, 2020).

La razón más importante que los productores mencionaron para establecer invernaderos en el municipio es mejorar el ingreso. Este deseo ya ha sido reconocido entre los emprendedores latinoamericanos (Martínez-Gómez, 2016). En este sentido, este tipo de producción ha probado ser rentable en Hidalgo, aun cuando la producción se destine al mercado doméstico (Terrones-Cordero, 2019; Terrones-Cordero & Sánchez-Torres, 2011). Entre los invernaderos establecidos en Tecozautla, se encontraron ejemplos donde la competitividad es suficiente para enviar producción hacia Estados Unidos.

Los principales factores detrás del uso eficiente y la adopción de innovaciones en el ámbito de la agricultura en Hidalgo son el nivel educativo, la experiencia en la actividad y el acceso a servicios de extensión. Entre estas variables, la experiencia es la más significativa (Vargas-Canales et al., 2018). Sin embargo, el

The findings invite future research to explore the structural conditions that shape the entrepreneurial profile in rural areas and to consider the diverse trajectories, motivations, and capabilities among agricultural producers in Mexico.

Acknowledgments

This research was funded by the Tecnológico Nacional de México grant 16633.23-PD.

End of English version

References / Referencias

- Becerra-Bizarrón, M. E., & Castellón-Palacios, M. R. (2023). Análisis de personalidad emprendedora en agricultores del municipio de Bahía de Banderas Nayarit. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 14(27). <https://doi.org/10.23913/ride.v14i27.1582>
- Bull, I., & Willard, G. E. (1993). Towards a theory of entrepreneurship. *Journal of Business Venturing*, 8(3), 183-195. [https://doi.org/10.1016/0883-9026\(93\)90026-2](https://doi.org/10.1016/0883-9026(93)90026-2)
- Carland, J. W., & Carland, J. C. (1997). A model of potential entrepreneurship: Profiles and educational implications. *Journal of Small Business*, 8(1), 1-13. <https://lib-journals.mtsu.edu/index.php/jsbs/article/view/355>
- Carland, J. W., Hoy, F., Boulton, W. R., & Carland, J. A. C. (1984). Differentiating entrepreneurs from small business owners: A conceptualization. *The Academy of Management Review*, 9(2), 354. <https://doi.org/10.2307/258448>
- De Vries, M. F. R. K. (1977). The entrepreneurial personality: A person at the crossroads. *Journal of Management Studies*, 14(1), 34-57. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.1977.tb00616.x>
- Dyer, W. G. (1995). Toward a theory of entrepreneurial careers. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 19(2), 7-21. <https://doi.org/10.1177/104225879501900202>
- Feldman, M. P., Link, A. N., & Siegel, D. S. (2002). The entrepreneurial process. En *The Economics of Science and Technology* (pp. 43-45). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0981-3_5
- Filion, L. J. (2021). Defining the entrepreneur. En: *World Encyclopedia of Entrepreneurship* (pp. 72-83). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781839104145>
- Flores-Rueda, I. C., Espinosa-Delgado, J. M., Tristán-Monroy, B. V., & Torres-Rivera, Ma. P. (2021). Rasgos del

acompañamiento gubernamental es importante. La escasa información disponible sobre la transferencia e implementación de esta tecnología en Hidalgo, así como sobre las estrategias de gestión de las unidades productivas, ha dificultado el desarrollo de estrategias para reducir los impactos negativos que afectan a la industria (Vargas-Canales et al., 2018). Los resultados del AFE son positivos, ya que muestran que la escala depurada es unidimensional. Esto significa que la escala mide un constructo único, lo que facilita su interpretación. La carga factorial de los ítems es alta, lo que indica que están bien relacionados con el factor subyacente, por lo que la escala es confiable. Los ítems seleccionados se relacionan con la percepción de competencia, la capacidad de gestión, la determinación, la capacidad para identificar y resolver problemas, la visión empresarial, la capacidad de gestionar personas, el deseo de logro y la sensibilidad a las oportunidades. En un estudio similar, se evaluaron las escalas autoeficacia, autonomía, innovación, locus de control interno, motivación de logro, optimismo, tolerancia al estrés y toma de riesgos, encontrándose niveles de fiabilidad superiores a las escalas de actitudes, habilidades y motivaciones empleados en este estudio (Becerra-Bizarrón & Castellón-Palacios, 2023).

Finalmente, las estadísticas oficiales indican que en Tecozautla solo se produce chile morrón y tomate saladette bajo invernadero. Sin embargo, en este trabajo se encontró producción de chile jalapeño, pepino y rosales. Por otro lado, solamente el 66.7 % de los productores cuentan con croquis de los invernaderos. Esta documentación es básica para comenzar procesos de certificación que permitan acceder a mejores precios.

Conclusiones

En este estudio, no solo se identificó la conveniencia de caracterizar a los productores que establecen invernaderos como emprendedores, sino que se reconoció que el desarrollo de este término tiene profundas relaciones con la producción y la distribución de alimentos. Los términos riesgo e incertidumbre han acompañado dicho desarrollo desde sus orígenes. El emprendedor se identifica por tener ciertas características que lo definen; sea que las haya aprendido con la experiencia o que sean parte de su persona-

- empresedor potosino: Un análisis entre hombres y mujeres. *Tlatemoani: revista académica de investigación*, 38, 109-126. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8238815>
- García, B., & González, A. (2013). Caracterización del emprendimiento agrícola del municipio Sucre, Estado Falcón. *Multiciencias*, 13(2), 143-150. <https://www.redalyc.org/pdf/904/90428841005.pdf>
- Garza-Alonso, C. A., Olivares-Sáenz, E., Vázquez-Alvarado, R. E., & García-Treviño, N. E. (2020). Clasificación de regiones para la producción en invernaderos utilizando análisis multivariado. *Nova Scientia*, 12(24). <https://doi.org/10.21640/ns.v12i24.2125>
- Green, R., David, J., Dent, M., & Tyshkovsky, A. (1996). The Russian entrepreneur: A study of psychological characteristics. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 2(1), 49-58. <https://doi.org/10.1108/13552559610110718>
- Hébert, R. F., & Link, A. N. (1989). In search of the meaning of entrepreneurship. *Small Business Economics*, 1(1), 39-49. <https://doi.org/10.1007/BF00389915>
- Hébert, R. F., & Link, A. N. (2006a). Historical perspectives on the entrepreneur. *Foundations and Trends in Entrepreneurship*, 2(4), 261-408. <https://doi.org/10.1561/03000000008>
- Hébert, R. F., & Link, A. N. (2006b). The entrepreneur as innovator. *Journal of Technology Transfer*, 31, 589-597. <https://doi.org/10.1007/s10961-006-9060-5>
- Hernández-Suárez, J. L. (2020). El desarrollo de los invernaderos en Zacatecas. Entre el auge y el abandono. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 8(22). <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2020.22.70248>
- Hisrich, R. D. (1990). Entrepreneurship/Intrapreneurship. *American psychologist*, 45(2), 209-222. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.45.2.209>
- Jaramillo-Villanueva, J. L., Morales-Jiménez, J., & Escobedo-Garrido, J. S. (2013). Factores que influyen para el emprendimiento de microempresas agropecuarias en el Valle de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 925-937. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263128352006>
- JASP Team. (2023). JASP (0.17.3) [Software]. <https://jasp-stats.org/>
- Kao, R. W. Y. (1993). Defining entrepreneurship: Past, present and? *Creativity and Innovation Management*, 2(1), 69-70. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8691.1993.tb00073.x>
- lidad, estas características determinan la decisión de llevar a cabo un proyecto.
- Los resultados del análisis factorial exploratorio de la escala depurada que se desarrolló en esta investigación, indican que la escala mide un único constructo, que puede denominarse "perfil emprendedor". Este constructo está compuesto por 17 actitudes, habilidades y motivaciones asociadas con el espíritu emprendedor a lo largo de la historia. Los ítems que tuvieron una puntuación más elevada son: iniciativa, deseo de construir algo propio, gusto por la toma de decisiones y ganar estatus (4.564, 4.513, 4.462 y 4.436) respectivamente.
- El establecimiento de invernaderos en Tecozautla es el resultado de una conjunción de factores ambientales, sociales, económicos e individuales. Corresponde a futuras investigaciones la descripción de los tres primeros, de manera que se diseñen estrategias que permitan obtener el mayor beneficio posible, dentro de los límites del desarrollo sustentable.
- Finalmente, esta investigación contribuye a cerrar una doble brecha: por un lado, al generar evidencia sobre los factores individuales que explican la adopción de agricultura protegida en contextos rurales; y por otro, al ofrecer una base empírica para revisar críticamente el uso de categorías analíticas como el término emprendedor en estudios agrarios y en el diseño de políticas públicas. Los resultados invitan a futuras investigaciones a profundizar en las condiciones estructurales que inciden sobre el perfil emprendedor en el medio rural y a considerar la diversidad de trayectorias, motivaciones y capacidades que existen entre los productores agrícolas de México.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el Tecnológico Nacional de México, clave 16633.23-PD.

Fin de la versión en español

- Landström, H. (2005). *Pioneers in entrepreneurship and small business research*. Springer. <https://doi.org/10.1007/b102095>
- Martínez-Gómez, A. E. (2016). Factores socio-culturales asociados al emprendedor: Evidencia empírica para América Latina. *Revista Venezolana de Gerencia*, 21(74), 312-330. <https://www.redalyc.org/journal/290/29046685009/html/>
- Moreno-Reséndez, A., Aguilar-Durón, J., & Luévano-González, A. (2011). Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 29, 763-774. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14119052014>
- Murphy, P. J., Liao, J., & Welsch, H. P. (2006). A conceptual history of entrepreneurial thought. *Journal of Management History*, 12(1), 12-35. <https://doi.org/10.1108/13552520610638256>
- Pérez-Paredes, A., Cruz-de los Ángeles, J. A., & Ramírez-Eliás, G. (2019). Características del fenómeno emprendedor en los municipios de Puebla y Tlaxcala, México. *Revista Nacional de Administración*, 10(2), 11-24. <https://doi.org/10.22458/rna.v10i2.2683>
- Raposo, M., do Paço, A., & Ferreira, J. (2008). Entrepreneur's profile: A taxonomy of attributes and motivations of university students. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 15(2), 405-418. <https://doi.org/10.1108/14626000810871763>
- Rodríguez-López, R., & Borges-Gómez, E. (2018). El perfil del emprendedor. Construcción cultural de la subjetividad laboral postfordista. *Cuadernos de Relaciones Laborales*, 36(2), 265-284. <https://doi.org/10.5209/CRLA.60697>
- Schiller, B. R., & Crewson, P. E. (1997). Entrepreneurial origins: A longitudinal inquiry. *Economic Inquiry*, 35(3), 523-531. <https://doi.org/10.1111/j.1465-7295.1997.tb02029.x>
- Schumpeter, J. A. (1965). *Economic theory and entrepreneurial history*. En *Explorations in enterprise* (pp. 45-64). Harvard University Press.
- SENASICA. (Diciembre 14, 2016). La aplicación de sistemas de protección garantiza la disposición de frutas y verduras todo el año. <http://www.gob.mx/senasica/articulos/conoce-que-es-la-agricultura-protegida?id->
- SIACON. (2024). Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (Versión 2024) [Software]. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Sosa-Baldivia, A., & Ruíz-Ibarra, G. (2017). La disponibilidad de alimentos en México: Un análisis de la producción agrícola de 35 años y su proyección para 2050. *Papeles de Población*, 23(93), 207-230. <https://doi.org/10.22185/24487147.2017.93.027>
- Terrones-Cordero, A. (2019). Producción de jitomate en invernadero en San Juan Tilcuautla, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 44, 170-183. <https://www.redalyc.org/journal/141/14161295005/html/>
- Terrones-Cordero, & Sánchez-Torres, Y. (2011). Análisis de la rentabilidad económica de la producción de jitomate bajo invernadero en Acaxochitlán, Hidalgo. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 29, 752-761. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14119052013>
- Thomas, A. S., & Mueller, S. L. (2000). A case for comparative entrepreneurship: Assessing the relevance of culture. *Journal of International Business Studies*, 31(2), 287-301. <https://www.jstor.org/stable/155638>
- Vargas-Canales, J. M., Palacios-Rangel, M. I., Aguilar-Ávila, J., Camacho-Vera, J. H., Ocampo-Ledesma, J. G., & Medina Cuellar, S. E. (2018). Efficiency of small enterprises of protected agriculture in the adoption of innovations in Mexico. *Estudios Gerenciales*, 34(146), 52-62. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2018.146.2811>
- Vargas-Canales, J. M., Palacios-Rangel, M. I., Camacho-Vera, J. H., Aguilar-Ávila, J., & Ocampo-Ledesma, J. G. (2015). Factores de innovación en agricultura protegida en la región de Tulancingo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 827-840. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i4.622>
- Vargas-Canales, J. M., Palacios-Rangel, M. I., García-Cruz, J. C., Camacho-Vera, J. H., Sánchez-Torres, Y., & Simón-Calderón, C. (2022). Analysis of the impact of the regional innovation system of protected agriculture in Hidalgo, Mexico. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 1-26. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2022.2039246>



Critical perspective on reforestation plans for water sovereignty in hydrosocial territories in agro-productive contexts

Jeison Javier Loiza-González
Humberto Thomé-Ortiz*

Abstract

This study analyzes the impact of reforestation plans on the water sustainability of avocado crops in the southern State of Mexico, with an emphasis on the relationship between forest cover and water management. The logical framework methodology was used, based on the categories of water sovereignty and hydrosocial territories, which allow the identification of scope, gaps and deficiencies of reforestation plans. The results indicate that, although reforestation favors ecological restoration and promotes adaptive practices, its contribution to solving structural problems in water management is limited. The study highlights the need to integrate initiatives with water management policies that address the environmental challenges arising from specialized agrifood systems such as avocados.

Keywords: forest management, water self-determination, hydrological sub-basin, agrifood systems, central Mexico.

Perspectiva crítica sobre planes de reforestación para la soberanía hídrica de los territorios hidrosociales en contextos agroproductivos

Resumen

Este estudio analiza el impacto de los planes de reforestación en la sostenibilidad hídrica de cultivos de aguacate en el sur del Estado de México, con énfasis en la relación entre la cobertura forestal y la gestión del agua. Se empleó la metodología de marco lógico, sustentada en las categorías de soberanía hídrica y territorios hidrosociales, las cuales permiten identificar los alcances, vacíos y deficiencias de los planes de reforestación. Los resultados indican que, aunque la reforestación favorece la restauración ecológica y promueve prácticas adaptativas, su aporte para resolver los problemas estructurales de la gestión hídrica es limitado. El estudio subraya la necesidad de integrar iniciativas con políticas de manejo del agua que aborden los desafíos ambientales derivados de los sistemas agroalimentarios especializados como el aguacate.

Palabras clave: gestión forestal, autodeterminación hídrica, subcuenca hidrológica, sistemas agroalimentarios, centro de México.

Introduction

Conceptions of nature have evolved throughout history (Gudynas, 2010), revealing a dialectical process that reflects the close relationship between humans and water resources. This relationship allowed cultures to understand the behavior of water flows and plan fundamental aspects of society (Ávila, 2006). For example, the Egyptians built their cities on the Nile riverbank, which shaped their culture, religion, transportation and economy (Bolaños-González, 2003); the Mexicas built Tenochtitlán on Texcoco Lake with advanced hydraulic engineering that integrated water supply, drainage, and chinampa agriculture¹ and communication networks (bridges and roads) (Martínez-Ruiz & Murillo-Licea, 2016); in Colombia, the Zenúes developed complex systems of canals and irrigation ditches for transportation and agriculture (Olmos-Severiche et al., 2022); and the Incas integrated water into their worldview through the deity “Mama Cocha,” thereby regulating the use of this resource (Olvera, 2006).

European colonization interrupted these conceptions and imposed a capitalist rationality that deepened the ontological separation between humans and nature (Gudynas, 2010). In the contemporary context, this vision has led to the commodification of water, reducing it to a commodity. Faced with this reductionism, there is a need for comprehensive approaches, such as that of *hydrosocial territories*, defined as “socially, naturally and politically constituted spaces that are (re)created through the interactions between human practices, water flows, hydraulic technologies, biophysical elements, socioeconomic structures and political-cultural institutions” (Boelens et al., 2017, p. 85). This concept emphasizes the political, cultural and ecological dimensions of water, proposing a land use plan that recognizes its collective nature.

Environmental problems, linked to climate change, have increased and generated concern, especially in phenomena related to water scarcity (United Nations, [UN], 2024). This has been the starting point for several research projects that seek to

¹A pre-Hispanic method of Mesoamerican agriculture where water is the main resource of the territory. These floating, arable surfaces, covered with earth, allow agricultural land to be created for food production in lake areas.

Introducción

Las concepciones sobre la naturaleza han evolucionado a lo largo de la historia (Gudynas, 2010), lo cual ha evidenciado un proceso dialéctico que refleja la estrecha relación entre el ser humano y los recursos hídricos. Esta relación permitió a las culturas comprender el comportamiento de los flujos de agua y planificar aspectos fundamentales de la sociedad (Ávila, 2006). Por ejemplo, los egipcios construyeron sus ciudades a orillas del río Nilo, lo cual configuró su cultura, religión, transporte y economía (Bolaños-González, 2003); los Mexicas edificaron Tenochtitlán sobre el Lago de Texcoco con una ingeniería hidráulica avanzada que integraba abastecimiento de agua, drenaje, agricultura en chinampas¹ y redes de comunicación (puentes y calzadas) (Martínez-Ruiz & Murillo-Licea, 2016); en Colombia, los Zenúes desarrollaron sistemas complejos de canales y acequias para el transporte y la agricultura (Olmos-Severiche et al., 2022); y los Incas integraron el agua en su cosmovisión mediante la deidad “Mama Cocha”, con lo que regularon el uso de este recurso (Olvera, 2006).

Con la colonización europea se interrumpieron estas concepciones y se impuso una racionalidad capitalista que profundizó la separación ontológica entre el ser humano y la naturaleza (Gudynas, 2010). En el contexto contemporáneo, esta visión ha derivado en la mercantilización del agua, reducida a un bien de cambio. Ante este reduccionismo, surge la necesidad de enfoques integrales, como el de los *territorios hidrosociales*, definidos como “espacios constituidos social, natural y políticamente que son (re)creados mediante las interacciones entre las prácticas humanas, los flujos de agua, las tecnologías hidráulicas, los elementos biofísicos, las estructuras socioeconómicas y las instituciones político-culturales” (Boelens et al., 2017, p. 85). Este concepto enfatiza la dimensión política, cultural y ecológica del agua, proponiendo un ordenamiento territorial que reconozca su carácter colectivo.

Los problemas ambientales, vinculados con el denominado cambio climático, han incrementado y generado preocupación, especialmente en los fenómenos relacionados con la escasez hídrica (Organización

¹Método prehispánico de agricultura mesoamericana donde el agua es el principal recurso del territorio. Constituyen superficies flotantes cultivables, cubiertas de tierra, que permiten ganar terreno agrícola para la producción de alimentos en zonas lacustres.

provide solutions to the problem through different alternatives, such as reforestation in affected territories. The common denominator of this research is that it has documented the relationship between deforestation and alterations in the hydrological cycle (Table 1), including the reduction in evapotranspiration, the increase in extreme flows, the decrease in average flows and the degradation of water quality (Poveda-Jaramillo & Mesa-Sánchez, 1995).

de las Naciones Unidas, [ONU], 2024). Lo anterior ha sido el punto de partida de diversas investigaciones que buscan aportar soluciones al problema mediante diferentes alternativas, como la reforestación en los territorios afectados. El común denominador de estas investigaciones es que han documentado la relación entre la deforestación y las alteraciones en el ciclo hidrológico (Cuadro 1), incluyendo la reducción de la evapotranspiración, el aumento de caudales

Table 1. Relationship between deforestation and the hydrological cycle.

Cuadro 1. Relación entre la deforestación y el ciclo hidrológico.

Hydrological cycle process / Proceso del ciclo hidrológico	Impact of deforestation / Impacto de la deforestación	Consequences on water availability / Consecuencias en la disponibilidad de agua
Evapotranspiration / Evapotranspiración	Decreased transpiration due to loss of tree cover. / Disminución de la transpiración por pérdida de la cubierta arbórea.	Lower contribution of water vapor to the atmosphere, which reduces cloud foemation and, consequently, precipitation. / Menor aporte de vapor de agua a la atmósfera, lo que reduce la formación de nubes y, en consecuencia, la precipitación.
Infiltration and recharge of aquifers / Infiltración y recarga de acuíferos	Reduction in the soil's ability to retain and infiltrate water due to the absence of roots. / Reducción de la capacidad del suelo para retener e infiltrar el agua debido a la ausencia de raíces.	Less aquifer recharge and decrease in groundwater reserves, which affects supply during dry periods. / Menor recarga de acuíferos y disminución de la reserva de agua subterránea, lo cual afecta el suministro durante periodos secos.
Surface runoff / Escorrentía superficial	Increased runoff due to the lack of absorption and retention provided by roots. / Incremento de la escorrentía al no existir la absorción y retención que brindan las raíces.	Greater water loss through runoff, with less water infiltrating and available for irrigation or consumption, which exacerbates drought. / Mayor pérdida de agua por escorrentía, con menos agua infiltrada y disponible para riego o consumo, lo que agrava la sequía.
Microclimate / Microclima	Alteration of local temperature and humidity due to the elimination of natural regulation by vegetation. / Alteración de la temperatura y humedad local al eliminarse la regulación natural de la vegetación.	Increased soil evaporation and changes in clouds formation, leading to drier conditions and a higher risk of drought. / Aumento de la evaporación del suelo y cambios en la formación de nubes, lo cual genera condiciones más secas y mayor riesgo de sequías.
Soil erosion and degradation / Erosión y degradación del suelo	Increased erosion due to loss of vegetation protection, affecting soil structure and retention capacity. / Incremento de la erosión al perder la protección vegetal, lo que afecta la estructura y capacidad de retención del suelo.	Degraded soils have a lower capacity to retain water, which reduces infiltration and exarcebates water scarcity in the region. / Suelos degradados tienen menor capacidad para retener agua, lo que reduce la infiltración y agrava la escasez hídrica en la región.

Source: Authors' self-made.

Fuente: Elaboración propia.

In Mexico, the loss of forest cover is associated with the decline of hydrological services and a growing water management crisis (Manson, 2004). Therefore, this author suggests implementing *Payments for Environmental Services* programs and creating markets for hydrological services to increase forest area, contain environmental deterioration, and promote the sustainable management of natural resources.

Other research has highlighted the importance of reforestation in mitigating these impacts. Sánchez-Chávez et al. (2023) emphasize the importance of reforestation with native species for climate change mitigation and adaptation, and highlight the urgency of implementing such initiatives in Chihuahua, Mexico, to improve the quality of environmental services, water catchment, and population well-being. Orozco-Espinoza (2019) points out that reforestation in the town of El Carrizal, Coyuca de Benítez, Guerrero, Mexico, is essential for the conservation of mangroves in the context of climate change and rising sea levels.

In the "La Montaña" region of Guerrero, Cervantes et al. (1996) conducted an analysis of the causes that have prevented reforestation programs from succeeding. To do so, they reviewed development programs that included reforestation activities and concluded that the low success rate has several causes, including the fact that reforestation is not aimed at restoring the environment, low diversity in the tree species used, technical deficiencies, limited reforestation area, limited financial resources, lack of training, and low social acceptance.

Fernández-Pérez et al. (2013) analyzed the effectiveness of reforestation in comparison with the composition and structure of three forest types (area reforested with *Cupressus lusitanica*, a *Pinus-Quercus* forest fragment and a secondary pine-oak forest) in Chiapas, Mexico. These authors mention that, under certain circumstances, reforestation with a single species can be considered analogous to a forest plantation, which can reduce ecosystem service balances. Furthermore, they point out that the widespread use of *Cupressus lusitanica* to reforest degraded areas can reduce the richness and diversity of humid mountain forests, at least during the first 28 years while the forest establishes itself and allows for the introduction

extremos, la disminución de caudales promedio y la degradación de la calidad del agua (Poveda-Jaramillo & Mesa-Sánchez, 1995).

En México, la pérdida de cobertura forestal se asocia con la disminución de los servicios hidrológicos y con una creciente crisis de gestión del agua (Manson, 2004). Por ello, este autor sugiere la implementación de programas de *Pagos por Servicios Ambientales* y la creación de mercados para los servicios hidrológicos que permitan incrementar el área forestal, contener el deterioro ambiental y promover el manejo sostenible de los bienes naturales.

Otras investigaciones han resaltado la importancia de la reforestación para mitigar dichos impactos. Sánchez-Chávez et al. (2023) destacan la importancia de la reforestación con especies nativas para la mitigación y adaptación al cambio climático, y resaltan la urgencia de implementar este tipo de iniciativas en Chihuahua, México, para mejorar la calidad de los servicios ambientales, la captación de agua y el bienestar de la población. Orozco-Espinoza (2019) señala que la reforestación en la localidad de El Carrizal, Coyuca de Benítez, Guerrero, México, es indispensable para la conservación de los manglares en el contexto del cambio climático y el aumento del nivel del mar.

En la región de "La Montaña" en Guerrero, Cervantes et al. (1996) realizaron un análisis de las causas que han impedido que los programas de reforestación tengan éxito. Para ello, revisaron programas de desarrollo que incluyeran las actividades de reforestación y concluyeron que el bajo porcentaje de éxito tiene varias causas, entre ellas que la reforestación no está dirigida a la restauración del ambiente, poca diversidad en las especies de árboles utilizados, deficiencias técnicas, superficie de reforestación limitada, pocos recursos económicos, falta de capacitación y poca aceptación social.

Por su parte, Fernández-Pérez et al. (2013) analizaron la efectividad de la reforestación en comparación con la composición y estructura de tres tipos de bosques (área reforestada con *Cupressus lusitanica*, fragmento de bosque de *Pinus-Quercus* y bosque secundario de pino-encino) en Chiapas, México. Estos autores mencionan que, bajo ciertas circunstancias, la reforestación con una sola especie se puede considerar análoga a una plantación forestal, lo que

of native species. This shows that reforestation activities cannot be taken lightly, as poor planning can bring more problems than benefits to the territories.

Rebollar-Domínguez et al. (2016) studied two forest ejidos linked to the *Pilot Forestry Plan* developed in Quintana Roo, Mexico, in 1984, and analyzed the harvesting and conservation activities carried out in the forests. The initiative seeks to encourage the diversified use of commercially unknown species, which must be found in sufficient quantities for sustainable harvesting. The authors emphasize the importance of participatory decision-making within the ejidos, technical advice, capacity building for those involved and interdisciplinary studies for forest conservation.

In the international context, Molina-Pereira (2019) implemented reforestation as a strategy for the conservation of rivers and streams in Venezuela. To this end, he developed a diagnosis that allowed to understand the nature of the problem, its causes and effects. As a result, the importance of water and forest conservation was addressed with the community by planting 250 bamboo plants near water sources.

In Colombia, Rodríguez-Becerra (2004), using of official documents—interviews and workshops with public officials—examined how *Colombia's Green Plan* (1999–2002) was implemented despite the presence of guerrillas, paramilitaries and the Colombian army. The effort focused on exploring the circumstances that allowed the plan's implementation in conflict zones through the voices of public officials in the territories, since there was no direct participation by the communities or the armed stakeholders involved.

In the case of Costa Rica, Vargas (1997) demonstrated—through analysis of runoff coefficients, infiltration and water balances—the quantitative advantage of reforestation in reducing erosion and runoff compared to agriculture. As a result, he proposed the declaration of four protection areas within the two sub-basins studied: 1) protection of watercourses and surface catchments, 2) protection of springs, 3) agricultural or residential use, and 4) livestock use and commercial forest plantations. In addition, he highlighted the importance of the upper Virilla River basin for aquifer recharge and the need for

puede reducir los balances de los servicios ecosistémicos. Además, señalan que el uso extendido de *Cupressus lusitanica* para reforestar áreas degradadas puede reducir la riqueza y diversidad de bosques húmedos de montaña, al menos durante los primeros 28 años mientras el bosque se establece y permite la introducción de especies nativas. Esto evidencia que las actividades de reforestación no se pueden tomar a la ligera, debido a que una mala planeación puede traer más problemas que beneficios a los territorios.

Rebollar-Domínguez et al. (2016) estudiaron dos ejidos forestales vinculados al *Plan Piloto Forestal* desarrollado en Quintana Roo, México, en 1984, y analizaron las actividades de aprovechamiento y conservación que se realizan en los bosques. La iniciativa trata de estimular el uso diversificado de las especies no conocidas comercialmente, las cuales se deben encontrar en cantidad suficiente para su aprovechamiento sostenible. Los autores hacen énfasis en la importancia de la participación y toma de decisiones de manera participativa dentro de los ejidos, la asesoría técnica, el desarrollo de capacidades de las personas involucradas y los estudios interdisciplinarios para la conservación del bosque.

En el contexto internacional, Molina-Pereira (2019) implementó la reforestación como una estrategia para la conservación de ríos y quebradas en Venezuela; para ello, elaboró un diagnóstico que permitió conocer la naturaleza del problema, sus causas y efectos. Como resultado, se abordó con la comunidad la importancia del cuidado del agua y el bosque mediante la plantación de 250 plantas de bambú cerca de las fuentes hídricas.

En Colombia, Rodríguez-Becerra (2004), mediante documentos oficiales—entrevistas y talleres con funcionarios públicos— examinó las formas de cómo se puso en marcha el *Plan Verde de Colombia* (1999-2002) aún con la presencia de la guerrilla, los paramilitares y el ejército colombiano. El esfuerzo se centró en explorar las circunstancias que permitieron el despliegue del plan en zonas conflictivas a través de las voces de los funcionarios públicos de los territorios, ya que no se contó con la participación directa de las comunidades ni de los actores armados involucrados.

En el caso de Costa Rica, Vargas (1997) demostró—a través del análisis del coeficiente de escorrentía,

ongoing dialogue between communities and stakeholders in the territory for the effective protection of water resources.

On the other hand, it has been pointed out that many of these initiatives maintain a mercantilist bias, proposing schemes such as payment for environmental services and hydrological services markets, which reduces the ecological and cultural complexity of ecosystems to an instrumental vision (O'Connor, 2002). Therefore, a critical and holistic analysis that considers the socio-environmental and cultural dimensions of reforestation is essential for the restoration of hydrosocial cycles.

From this perspective, the concept of balance transforms reforestation activities into a way of harmonizing the relationships between humans, water, and agrifood systems. In this sense, in the southern region of the State of Mexico, where the deterioration of watersheds and the expansion of specialized crops such as avocado have intensified pressure on water resources (Rosas-Landa, 2012), small producers and local associations, such as "La Libertad," have empirically developed reforestation practices on communal lands in the municipality of Donato Guerra, State of Mexico.

Considering the above, the objective of this study was to analyze the impact of reforestation on the water sustainability of avocado crops in the southern part of the State of Mexico, with an emphasis on the relationship between forest cover and water management. This analysis seeks to identify how the implementation of reforestation practices can influence the hydrological balance of agrifood systems, as well as to evaluate whether these strategies represent a viable solution for improving water availability and quality in contexts affected by the environmental crisis.

Methodology

Reforestation has been promoted in many rural areas as a strategy to address environmental crises, as forests provide key ecosystem goods and services, including biodiversity conservation, carbon sequestration and hydrological cycle regulation (Fernández-Pérez et al., 2013). In this article, a reforestation plan was developed in accordance with the needs of the avocado producers' association "La Li-

infiltración y balances hídricos— la ventaja cuantitativa de la reforestación en la disminución de la erosión y la escorrentía en comparación con la agricultura. Como resultado, propuso la declaración de cuatro áreas de protección dentro de las dos subcuencas estudiadas: 1) protección de cauces y captaciones superficiales, 2) protección de manantiales, 3) uso agrícola o residencial, y 4) uso ganadero y plantación forestal comercial. Además, resaltó la importancia de la cuenca alta del río Virilla para la recarga de los acuíferos y la necesidad de un diálogo permanente entre las comunidades y los actores del territorio para la protección efectiva del recurso hídrico.

Por otra parte, se ha señalado que muchas de estas iniciativas mantienen un sesgo mercantilista, al proponer esquemas como el pago por servicios ambientales y los mercados de servicios hidrológicos, lo cual reduce la complejidad ecológica y cultural de los ecosistemas a una visión instrumental (O'Connor, 2002). Por ello, resulta indispensable un análisis crítico y holístico que considere la dimensión socioambiental y cultural de la reforestación para la restauración de los ciclos hidrosociales.

Desde esta perspectiva, el concepto de equilibrio convierte a las actividades de reforestación en una forma de armonizar las relaciones entre el ser humano, el agua y los sistemas agroalimentarios. En este sentido, en la región sur del Estado de México, donde el deterioro de las cuencas y la expansión de cultivos especializados como el aguacate han intensificado la presión sobre los recursos hídricos (Rosas-Landa, 2012), pequeños productores y asociaciones locales, como "La Libertad", han desarrollado de manera empíricas prácticas de reforestación en terrenos ejidales del municipio de Donato Guerra, Estado de México.

Considerando lo anterior, el objetivo de este estudio fue analizar el impacto de la reforestación en la sostenibilidad hídrica de cultivos de aguacate en el sur del Estado de México, con énfasis en la relación entre la cobertura forestal y la gestión del agua. Mediante este análisis se busca identificar cómo la implementación de prácticas de reforestación puede influir en el equilibrio hidrológico de los sistemas agroalimentarios, así como evaluar si dichas estrategias representan una solución viable para mejorar la disponibilidad y calidad del agua en contextos afectados por la crisis ambiental.

bertad.” However, the analysis was approached critically, considering its scope and limitations, with the understanding that reforestation itself does not constitute a comprehensive solution to the region’s water problems.

The unit of analysis was the Cutzamala River basin, which is located in the states of Michoacán, Mexico, and Guerrero and has an area of 10 619.14 km² (Figure 1). It is bordered to the north by the Lerma-Santiago, the Medio Balsas River basin to the south, the Amacuzac River basin to the east and the Tacámbaro River basin to the west (Comisión Nacional de Agua [CONAGUA], 2015).

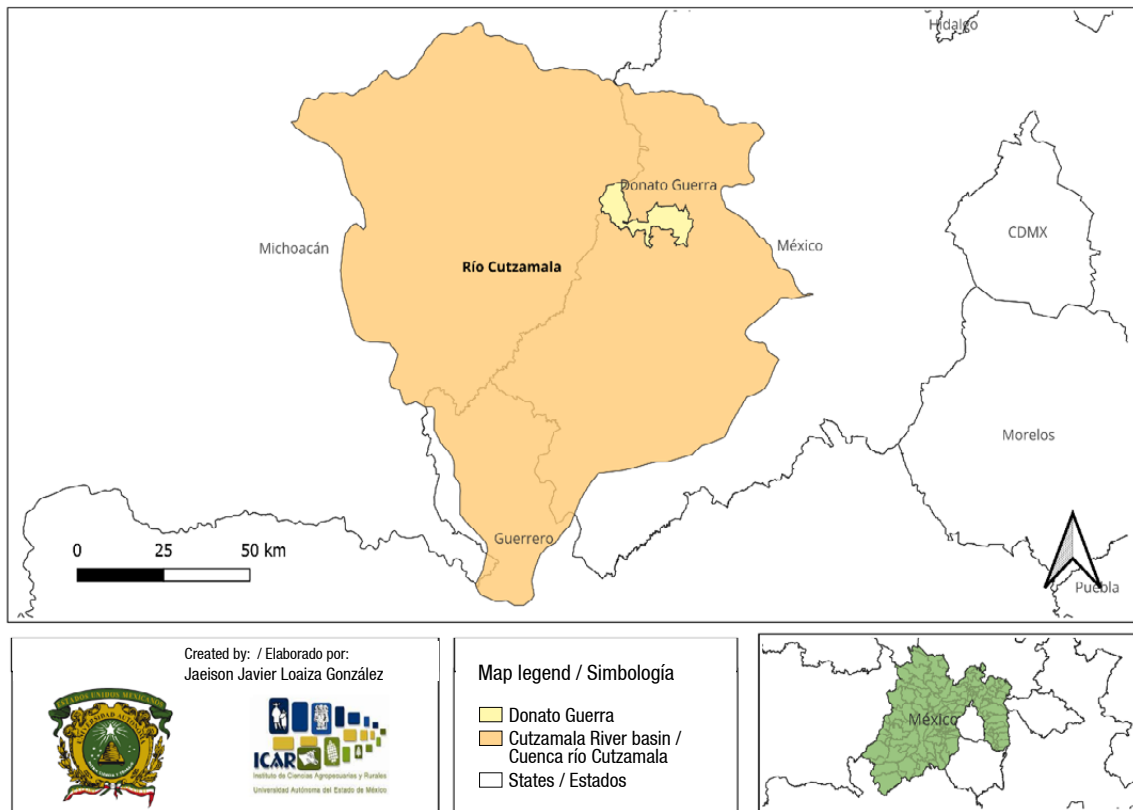
Within the framework of reforestation actions linked to rural development, the logical framework

Metodología

La reforestación se ha promovido en muchos territorios rurales como una estrategia para enfrentar las crisis ambientales, debido a que los bosques aportan bienes y servicios ecosistémicos clave, entre ellos la conservación de la biodiversidad, la captura de carbono y la regulación del ciclo hidrológico (Fernández-Pérez et al., 2013). En el presente artículo, se elaboró un plan de reforestación acorde con las necesidades de la asociación de productores de aguacate “La Libertad”. No obstante, el análisis se planteó de manera crítica, considerando sus alcances y limitaciones, bajo el entendido de que la reforestación por sí sola no constituye una solución integral a los problemas hídricos de la región.

Figure 1. Location map of the Donato Guerra basin and municipality where the “La Libertad” avocado producers association is located.

Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca y del municipio Donato Guerra donde se localiza la asociación de productores de aguacate “La Libertad”.



Source: Authors’ self-made.
Fuente: Elaboración propia.

methodology was used, this allows projects to be planned in a systematic and logical manner, taking into account causality, dependency and conditioning relationships. It also considers the objectives to be achieved, the main activities and the external assumptions that may influence their achievement (Muñoz et al., 2018). This tool can be applied in design, execution or evaluation; in this study, it was used to design the reforestation plan for the avocado producers' association "La Libertad," which had a history of forest recovery.

The methodological process consisted of several phases: i) analysis of the current situation, ii) identification of problems and objectives, iii) development of strategies and activities, iv) definition of success indicators, v) planning, monitoring and evaluation, vi) participatory action, and vii) flexibility and adaptation throughout the process (Ortegón et al., 2015).

The analysis of the current situation revealed illegal logging and expansion of the agricultural frontier. The *Municipal Development Plan* documents the deterioration of ecosystems due to pollution and deforestation, and identifies an increase in the exploitation of timber resources without considering forest compensation mechanisms that encourage tree planting (Municipal Government, 2022). This situation is exacerbated by land use changes associated with the expansion of avocado orchards.

Based on the diagnosis and the association's water management practices, the *water yield* model was used to estimate the proportion of forest needed to provide water support for 1 ha of avocado. These results made it possible to establish the goals and activities of the reforestation plan (Figure 2). In terms of goals, the plan was to reforest 49.2 ha of forest to provide water support for 36.5 ha of avocado orchards. The overall objective was to increase the balance between water consumption in the orchards and water production in the forest, in order to mitigate the impacts of climate change, conserve ecosystems and recover water sources, within the framework of an integrated water management model for agrifood systems.

The reforestation plan activities were divided into: i) assessment and selection of reforestation areas; ii) planting and maintenance of reforested areas; and

La unidad de análisis fue la cuenca del río Cutzamala, la cual se localiza en los estados de Michoacán, México y Guerrero y tiene una superficie de 10619.14 km² (Figura 1). Limita al norte con la región hidrológica Lerma-Santiago, al sur con la cuenca del río Medio Balsas, al este con la cuenca del río Amacuzac y al oeste con la cuenca del río Tacámbaro (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2015).

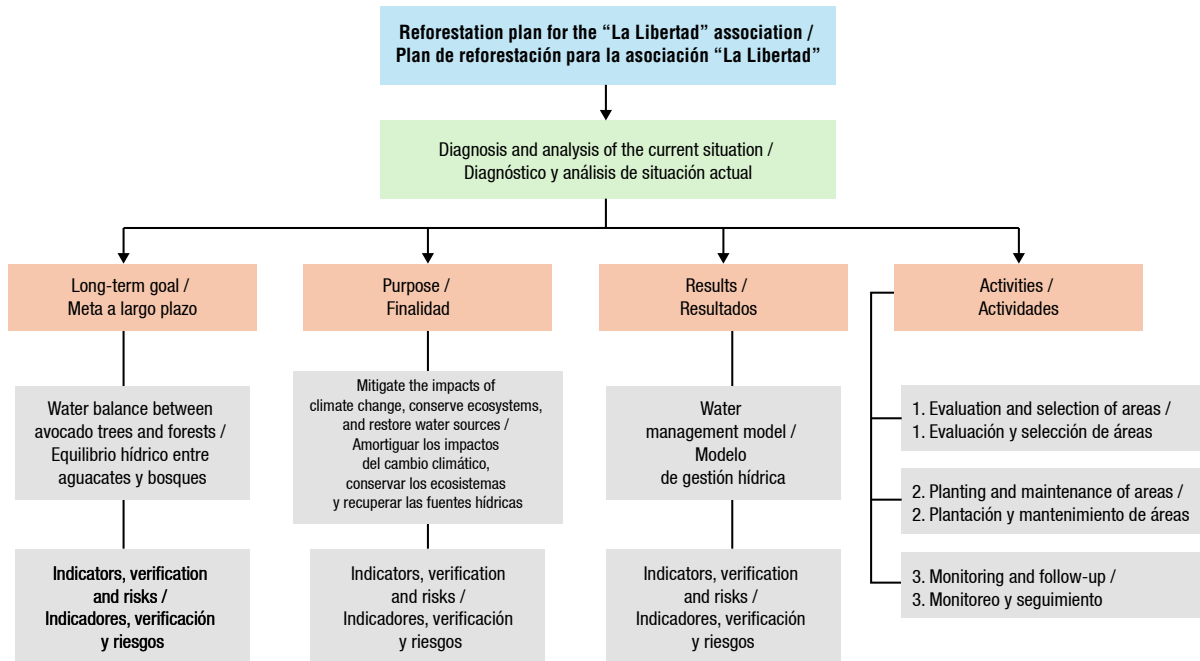
En el marco de las acciones de reforestación vinculadas al desarrollo rural, se empleó la metodología de marco lógico, la cual permite planificar los proyectos de forma sistemática y lógica, al considerar las relaciones de causalidad, dependencia y condicionamiento. Asimismo, contempla los objetivos a alcanzar, las actividades principales y los supuestos externos que pueden incidir en su consecución (Muñoz et al., 2018). Esta herramienta se puede aplicar en el diseño, la ejecución o la evaluación; en este estudio se utilizó para diseñar el plan de reforestación de la asociación de productores de aguacate "La Libertad", la cual contaba con antecedentes de recuperación del bosque.

El proceso metodológico contempló diversas fases: i) análisis de la situación actual, ii) identificación de problemas y objetivos, iii) desarrollo de estrategias y actividades, iv) definición de indicadores de éxito, v) planificación, monitoreo y evaluación, vi) acción participativa, y vii) flexibilidad y adaptación a lo largo del proceso (Ortegón et al., 2015).

El análisis de la situación actual evidenció tala ilegal y expansión de la frontera agrícola. El *Plan de Desarrollo Municipal* documenta el deterioro de los ecosistemas por contaminación y deforestación, e identifica un incremento en la explotación de los recursos maderables sin considerar mecanismos de retribución forestal que estimulen la siembra de árboles (Gobierno municipal, 2022). Esta situación se acentúa por los cambios de uso del suelo asociados a la expansión de huertos de aguacate.

Con base en el diagnóstico y en las formas de gestión del agua de la asociación, se utilizó el modelo de rendimiento hídrico *water yield* para estimar la proporción de bosque que se necesita para otorgar sustento hídrico a 1 ha de aguacate. Estos resultados permitieron establecer las metas y las actividades del plan de reforestación (Figura 2). En cuanto

Figure 2. Reforestation plan based on the logical framework methodology.
Figura 2. Plan de reforestación a partir de la metodología de marco lógico.



Source: Authors'self-made.
 Fuente: Elaboración propia.

iii) monitoring and follow-up. In the first activity, indicators included the area (hectares) reforested, the identification of tree species, and suitable planting sites. Verification was carried out using a single format with a map showing degraded hectares, the varieties planted there and other available planting sites. The main limitation of this activity was the lack of technical support from institutions for the assessment and selection of suitable areas.

In the second activity, the indicators were the number of plants planted, the precise scheduling of planting cycles, and the frequency of maintenance activities (irrigation, weed control, and protection against herbivores). Verification was achieved through forms that show the number and variety of plants, as well as the frequency of maintenance activities. Risks included a lack of commitment on the part of producers to perform maintenance work, poor plant quality, and the delivery of seedlings outside of the planting season.

In the third stage, indicators were included plant survival and growth, the number of visits to reforested areas, documentation of observed changes and

a las metas, se planteó reforestar 49.2 ha de bosque para brindar sustento hídrico a 36.5 ha de huertos de aguacate. El objetivo general fue incrementar el balance entre el consumo hídrico de los huertos y la producción de agua en el bosque, con el fin de amortiguar los impactos del cambio climático, conservar los ecosistemas y recuperar las fuentes hídricas en el marco de un modelo de gestión hídrica integral para sistemas agroalimentarios.

Las actividades del plan de reforestación se dividieron en: i) evaluación y selección de áreas de reforestación; ii) plantación y mantenimiento de áreas reforestadas, y iii) monitoreo y seguimiento. En la primera actividad, los indicadores incluyeron la superficie (hectáreas) reforestada, la identificación de las especies de árboles y los lugares adecuados para la siembra. La verificación se realizó a través de un formato único con un mapa que mostraba las hectáreas degradadas, las variedades sembradas en el lugar y otros sitios disponibles para la siembra. La principal limitante de esta actividad fue la falta de apoyo técnico por parte de las instituciones para la evaluación y selección de las áreas adecuadas.

adjustments to reforestation strategies based on monitoring results. Verification was carried out using a format for evaluating plant survival rates and implementing corrective actions. Risks included high loss of planted plants due to potential failures in monitoring systems, poor rigor in identifying pests and diseases in forests, and forest fires during dry seasons.

Results

The reforestation plan is currently in the analysis and adjustment phase for implementation in the territory. The planning matrix summarizes the strategy (Table 2); its components are described below.

The project focused on reforesting degraded forest areas in order to promote the restoration and sustainable use of water sources for irrigating avocado crops, as well as maintaining biological diversity and providing new perspectives for local producers. This requires concerted action among communities, academia, the state, the market and organized civil society.

In the long term, the goal is to promote a water balance between water consumption in avocado orchards and the forest's supply capacity. Because this relationship is contextual and specific, each case must be analyzed with its own variables. This underscores the interdependence between forests and agrifood systems, which must incorporate compensatory actions to contribute to the stability of hydro-social systems from a holistic and transdisciplinary perspective.

Reforestation is a targeted action to mitigate the impacts of climate change and conserve strategic water sources; however, on its own, it does not represent a definitive solution to the environmental and water challenges facing these territories. A comprehensive strategy is needed that includes the protection of natural areas, sustainable water resource management, the promotion of sustainable agricultural practices, and participatory approaches. Furthermore, the effectiveness of reforestation depends on factors such as species selection, soil management, and ongoing monitoring of results.

The assessment and selection of reforestation areas are the starting point. This involves identifying and evaluating which areas need reforestation due to soil degradation, loss of vegetation cover, or oth-

En la segunda actividad, los indicadores fueron la cantidad de plantas sembradas, la calendarización precisa de los ciclos de plantación y la frecuencia de las actividades de mantenimiento (riego, control de malezas y protección contra herbívoros). La verificación se realizó a través de formatos que evidenciaban la cantidad y la variedad de las plantas, así como la frecuencia de las actividades de mantenimiento. Los riesgos incluyeron la falta de compromiso por parte de los productores para realizar las labores de mantenimiento, la mala calidad de las plantas y la entrega de las plántulas fuera de la época de siembra.

En la tercera, los indicadores fueron la supervivencia y el crecimiento de las plantas, la cantidad de visitas a las áreas reforestadas, la documentación de los cambios observados y los ajustes de las estrategias de reforestación en función de los resultados del monitoreo. La verificación se realizó a través de un formato de evaluación del porcentaje de supervivencia de las plantas y la implementación de acciones correctivas. Los riesgos incluyeron la alta pérdida de plantas sembradas debido a posibles fallas en los sistemas de monitoreo, la baja rigurosidad para la identificación de plagas y enfermedades en los bosques, y los incendios forestales en época de sequía.

Resultados

Actualmente, el plan de reforestación se encuentra en fase de análisis y ajustes para su implementación en el territorio. La matriz de planificación resume la estrategia (Cuadro 2); posteriormente, se describen los elementos que la componen.

El proyecto se enfocó en la reforestación de áreas boscosas degradadas, con el fin de promover la restauración y el uso sostenible de las fuentes hídricas destinadas al riego de los cultivos de aguacate, además de mantener la diversidad biológica y aportar nuevas perspectivas a los productores locales. Lo anterior requiere de acciones concertadas entre las comunidades, la academia, el Estado, el mercado y la sociedad civil organizada.

A largo plazo, el objetivo es propiciar un equilibrio hídrico entre el consumo de agua en los huertos de aguacate y la capacidad de suministro del bosque. Debido a que esta relación es contextual y específica, cada caso se debe analizar con sus propias variables. De esta manera, se subraya la interdependencia

Table 2. Reforestation plan matrix based on the logical framework methodology.
Cuadro 2. Matriz del plan de reforestación a partir de la metodología de marco lógico.

	Summary / Resumen	Indicators / Indicadores	Verification / Verificación	Risks and assumptions / Riesgos y suposiciones
Long-term goals / Metas a largo plazo	Water balance between the water consumed by avocado orchards and what the forest can provide / Balance hídrico entre el agua que consumen los huertos de aguacate y lo que puede brindar el bosque	- Number of trees planted per year - Percentage of tree survival one year after planting - Number of producers participating annually / - Número de árboles sembrados por año - Porcentaje de supervivencia de árboles un año después de la siembra - Número de productores que participan anualmente	Evaluation form specifying the planting area, number of trees, maintenance frequency, and participants / Ficha de evaluación donde se delimita la superficie siembra, la cantidad de árboles, la frecuencia de mantenimiento y los participantes	- Low participation - Droughts and fires - Loggers - Maintenance failures / - Poca participación - Sequías e incendios - Taladores - Fallas en el mantenimiento
Purpose / Finalidad	Reforestation as a mechanism to reduce the impacts of climate change, conserve and restore water sources. / Reforestación como mecanismo para disminuir los impactos del cambio climático, conservar y restaurar las fuentes hídricas	- Number of workshops held on water impacts of the crop - Percentage of participants who improved their knowledge of the water impacts of cultivation / - Número de talleres realizados sobre impactos hídricos del cultivo - Porcentaje de participantes que mejoran su conocimiento sobre impactos hídricos del cultivo	- Qualitative assessment form on changes in environmental perception / - Ficha de evaluación cualitativa sobre los cambios en la percepción medioambiental	- Low participation - Droughts and fires - Loggers - Maintenance failures / - Poca participación - Sequías e incendios - Taladores - Fallas en el mantenimiento
Result / Resultado	Water management model for the "La Libertad" producers' association / Modelo de gestión hídrica para la asociación de productores de aguacate "La libertad"	- Number of producers adopt the water management model - Percentage of actions implemented according to the water management model plan / - Cantidad de productores que adoptan el modelo de gestión hídrica - Porcentaje de acciones implementadas según el plan del modelo de gestión hídrica	- Identification form of the actions implemented by the producer - Difficulty identification form / - Ficha de identificación de las acciones implementadas por el productor - Ficha de identificación de las dificultades	- Lack of motivation to implement the model / - Falta de motivación para implementar el modelo
Activities / Actividades				
1	Evaluation and selection of reforestation areas / Evaluación y selección de áreas de reforestación	- Number of hectares reforested - Number of native species recommended and used in reforestation - Number suitable according to ecological and technical criteria / - Cantidad de hectáreas reforestadas - Número de especies nativas recomendadas y utilizadas en la reforestación - Número aptos según criterios ecológicos y técnicos	- Format of interrelation among the number of hectares, native species and optimal sites / - Formato de interrelación entre la cantidad de hectáreas, especies nativas y sitios óptimos	- Lack of technical support for the evaluation and selection of appropriate areas / - Falta de apoyo técnico para la evaluación y selección de las áreas adecuadas
2	Planting and maintenance of reforested areas / Plantación y mantenimiento de áreas reforestadas	- Quantity of available plants in the nursery for planting - Number of maintenance days performed per year / - Cantidad de plantas disponibles en el vivero para la siembra - Cantidad de jornadas de mantenimiento realizadas por año	- Format of interrelating quantity, variety of plants and maintenance activities / - Formato de interrelación entre cantidad, variedad de plantas y actividades de mantenimiento	- Lack of commitment to maintenance work - Poor quality of plants - Delivery of seedlings in dry seasons / - Falta de compromiso en las labores de mantenimiento - Mala calidad de las plantas - Entrega de las plántulas en épocas secas
3	Monitoring and follow-up / Monitoreo y seguimiento	- Percentage of tree survival after one year - Number of technical reports generated on reforestation progress - Modifications implemented in the reforestation strategy based on monitoring / - Porcentaje de supervivencia de árboles después de un año - Número de informes técnicos generados sobre el desarrollo de la reforestación - Modificaciones implementadas en la estrategia de reforestación con base en monitoreos	- Format of interrelation survival rate and corrective actions / - Formato de interrelación entre el porcentaje de supervivencia y las acciones correctivas	- Loss of planted seedlings - Lack of rigor in monitoring actions - Lack of control of forest fires / - Pérdida de plantas sembradas - Poca rigurosidad en las acciones de monitoreo - Falta de control de los incendios forestales

Source: Authors' self-made.

Fuente: Elaboración propia.

er factors. This analysis allows for the precise definition of priority areas for reforestation. Subsequently, trees must be planted and measures to restore vegetation must be implemented. This includes preparing the land, selecting suitable species, planting trees and the installation of protective measures. Success depends on irrigation, weed control, forest fire prevention and monitoring of tree growth. Finally, monitoring and follow-up are essential to assess the progress and success of the reforestation plan. Monitoring involves collecting data on tree survival and growth, restored biodiversity and other relevant indicators. The obtained results allow for adaptive adjustments to improve the effectiveness of the plan.

In summary, these three activities are interrelated: assessment and selection of areas provide the basis, planting and maintenance constitute the main actions, monitoring and follow-up ensure the long-term effectiveness of the project. Likewise, reforestation plans require financial strategies that allow them to remain sustainable over time.

Costs of reforesting an avocado agri-food system

The cost of reforesting 1 ha of forest in Mexico varies according to factors such as geographic location, species density and diversity, access to land, availability of seeds or seedlings, and the type of planting (manual or mechanized). In general, reforestation costs include expenses associated with land preparation, seed or seedling acquisition, planting, maintenance, monitoring and protection against fires and pests.

According to the Comisión Nacional Forestal de México (CONAFOR, 2011), the average cost of reforesting 1 ha of forest in the State of Mexico ranges between 1 400 and 1600 USD². However, this figure is approximate and may vary depending on the factors mentioned above, the scale of the project and the executing institution. In this regard, it is recommended to contact specialized reforestation organizations to find out the costs for a specific project.

To ensure financial viability of the plan, the association proposes allocating 0.016 USD per kilogram of avocado sold to create a forestry-environmental

²According to Banxico, the exchange rate on August 20, 2024, was 19 Mexican pesos per-US dollar.

entre el bosque y los sistemas agroalimentarios, por lo que estos últimos deben incorporar acciones compensatorias para contribuir a la estabilidad de los sistemas hidrosociales desde una perspectiva holística y transdisciplinaria.

Las reforestaciones constituyen acciones puntuales para mitigar los impactos del cambio climático y conservar las fuentes hídricas estratégicas; sin embargo, por sí solas no representan una solución definitiva a los desafíos ambientales e hídricos que enfrentan los territorios. Se necesita una estrategia integral que incluya la protección de áreas naturales, la gestión sostenible de los recursos hídricos, la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y enfoques participativos. Además, la efectividad de las reforestaciones depende de factores como la selección de especies, la gestión del suelo y el monitoreo continuo de los resultados.

La evaluación y selección de las áreas de reforestación son el punto de partida. Esto implica identificar y evaluar qué áreas necesitan ser reforestadas debido a la degradación del suelo, la pérdida de cobertura vegetal u otros factores. Este análisis permite definir con precisión las áreas prioritarias para la reforestación. Posteriormente, se deben plantar los árboles e implementar las medidas para restaurar la vegetación. Esto incluye la preparación del terreno, la selección de las especies adecuadas, la siembra de árboles y la instalación de medidas de protección. El éxito depende de labores de riego, control de malezas, prevención de incendios forestales y seguimiento del crecimiento de los árboles. Finalmente, el monitoreo y seguimiento es esencial para evaluar el progreso y el éxito del plan de reforestación. El monitoreo implica la recopilación de datos sobre la supervivencia y el crecimiento de los árboles, la biodiversidad recuperada y otros indicadores relevantes. Los resultados obtenidos permiten realizar ajustes adaptativos para mejorar la efectividad del plan.

En resumen, estas tres actividades están interrelacionadas: la evaluación y selección de áreas proporcionan la base, la plantación y mantenimiento constituyen las acciones principales, y el monitoreo y seguimiento garantizan la efectividad a largo plazo del proyecto. Asimismo, los planes de reforestación necesitan estrategias financieras que le permitan permanecer en el tiempo.

committee responsible for coordinating planting, monitoring, and management of the trees planted each year, as well as environmental awareness campaigns. This figure was calculated based on the partners' production data and an average sales value of 1.04 USD per kilogram, which would raise approximately 14 400 USD annually (Table 3), enough to reforest approximately 9 ha per year (considering a reforestation cost of 1 600 USD per hectare). In this way, the goal of 49.2 ha would be achieved in 5.5 years, provided the area planted with avocado does not increase.

Reforestation: an expression of water sovereignty in agricultural contexts?

The above information raises a key question: are reforestation efforts the key to ensuring a sustainable future in terms of water resources in these territories? The answer to this question is clearly no. Although reforestation directly influences the hydrological cycle, it will not solve structural problems if the extractive dynamics of predatory capitalism persist. In such a scenario, even the best planned initiatives would barely manage to postpone the crisis. However, this does not mean they are useless. In the case of this plan, reforestation seeks to raise awareness among producers about the importance of conserving forests as a source of life and water, and to serve as a conceptual and practical tool to challenge mercantilist views of nature, understood as natural capital (Gudynas, 2010). The aim is to direct actions to solve the problem structurally.

To solve the structural problem, the conditions that threaten the socio natural water cycle, which

Costos de la reforestación de un sistema agroalimentario de aguacate

El costo de reforestar 1 ha de bosque en México varía de acuerdo con factores como la ubicación geográfica, la densidad y la diversidad de especies, el acceso a la tierra, la disponibilidad de semillas o plántulas, y el tipo de plantación (manual o mecanizada). En general, los costos de reforestación incluyen gastos asociados con la preparación del terreno, la adquisición de semillas o plántulas, la plantación, el mantenimiento, el monitoreo y la protección contra incendios y plagas.

De acuerdo con la Comisión Nacional Forestal de México (CONAFOR, 2011), el costo promedio de reforestar 1 ha de bosque en el Estado de México oscila entre 1 400 y 1 600 USD². No obstante, esta cifra es aproximada y puede variar en función de los factores mencionados anteriormente, la escala del proyecto y la institución ejecutora. En este sentido, se recomienda contactar a entidades especializadas en reforestación para conocer los costos de acuerdo con un proyecto específico.

Para garantizar la viabilidad financiera del plan, se propone que la asociación destine 0.016 USD por cada kilogramo de aguacate vendido a la creación de un comité forestal-ambiental encargado de coordinar actividades de siembra, monitoreo y gestión de los árboles sembrados cada año, así como campañas ambientales de sensibilización. Esta cifra se calculó de acuerdo con los datos de producción de los socios y un valor de venta promedio de 1.04 USD por kilogramo, lo cual permitiría reunir aproximado 14 400 USD

²Según Banxico, la tasa de cambio el 20 de agosto de 2024 era de 19 pesos mexicanos por dólar americano.

Table 3. Resources allocated to achieve the objectives of the reforestation plan.
Cuadro 3. Recursos destinados para alcanzar los objetivos del plan de reforestación.

Tons / Toneladas	Kilograms / Kilogramos	Sale per-kilo (USD) / Venta por kilo (USD)	Total (USD)	
900	900 000.00	1.04	936 000.00	
		Contribution per-kilo (USD) / Aporte por kilo (USD)	Total (USD)	Monthly (USD) / Mensual (USD)
900	900 000.00	0.016	14 400.00	1 200.00

Source: Authors' self-made.
Fuente: Elaboración propia

transcends administrative boundaries and extends to regional, national, and international scales, must be changed. Therefore, it is necessary to discuss water sovereignty as a proposal to solve the problem at its root.

The concept of water sovereignty emerged from social movements in Latin America between the 80s and 90s from the last century, influenced by the Washington Consensus (Martínez-Rangel & Soto-Reyes, 2012). Rosas and Scheinvar (2014) and Seoane (2006) associate this concept with the movement of people affected by dams (MAB) in Brazil, which emerged in 1989 as a response to the privatization of water and the negative impacts on communities caused by the construction of large-scale water storage infrastructure (MAB, 2014). Likewise, the “Water War” in Cochabamba, Bolivia, became a reference point against the neoliberal water privatization, which was orchestrated by organizations such as the World Bank and the International Monetary Fund, which requested the privatization of public companies as a condition for legalizing a loan, without considering the needs of indigenous communities (Barrera-Cordero, 2009). This dispute led to direct confrontation with multinationals and the government, in defense of the common goods of their territory and identity.

In this regard, the Colombian movement in defense of territories affected by dams, “Ríos Vivos” (MRV) — with a presence in four regions of the country: Antioquia, Santander, Caldas and Huila— is working to develop alternative projects based on water and energy sovereignty (Movimiento Colombiano Ríos Vivos, 2014; Roca-Servat, 2024). In Mexico, the movement of people affected by dams and in defense of rivers (MAPDER) has also denounced the territorial impacts of dams and mega water projects, and has generated resistance to privatization policies (Gómez-Fuentes, 2015). These associations, by sharing a common problem, call into question the concept of water sovereignty.

Becerra-Ramírez et al. (2010) argue that the traditional concept of sovereignty has been modified by factors such as globalization, human rights agreements, transnational corporations, the environment, foreign trade and international crimes. At the state level, sovereignty has also been questioned, especially in governments that prioritize foreign extrac-

anuales (Cuadro 3), suficientes para reforestar cerca de 9 ha al año (si se considera un costo de reforestación de 1 600 USD por hectárea). De este modo, la meta de 49.2 ha se alcanzaría en 5.5 años, siempre y cuando no aumente el área cultivada con aguacate.

Reforestación: ¿expresión de soberanía hídrica en contextos agroproductivos?

La información anterior permite plantear un cuestionamiento clave: ¿los esfuerzos de reforestación son la clave para garantizar un futuro sostenible en términos hídricos en los territorios? La respuesta a esta pregunta claramente es no. Aunque la reforestación influye directamente en el ciclo hidrológico, no resolverá los problemas estructurales si persisten las dinámicas extractivistas del capitalismo depredador. En tal escenario, incluso las iniciativas mejor planificadas apenas lograrían posponer la crisis. No obstante, esto no significa que sean inútiles. En el caso del presente plan, la reforestación busca concientizar a los productores sobre la importancia de conservar los bosques como soporte de la vida y el agua, y servir de herramienta conceptual y práctica para cuestionar las visiones mercantilistas de la naturaleza, entendida como capital natural (Gudynas, 2010). Lo anterior con la finalidad de encaminar acciones para resolver el problema de manera estructural.

Para resolver el problema estructural se deben cambiar las condiciones que ponen en riesgo el ciclo socio-natural del agua, el cual trasciende fronteras administrativas y se inscribe en escalas regionales, nacionales e internacionales. Por ello, es necesario discutir sobre la soberanía hídrica, como propuesta para resolver el problema desde la raíz.

El concepto de soberanía hídrica surge de los movimientos sociales en América Latina entre la década de los 80 y 90 del siglo pasado, con la influencia del Consenso de Washington (Martínez-Rangel & Soto-Reyes, 2012). Rosas y Scheinvar (2014) y Seoane (2006) asocian este concepto con el movimiento de afectados por represas (MAB) en Brasil, el cual surgió en 1989 como respuesta a la privatización del agua y a los impactos negativos en las comunidades por la construcción de macro infraestructuras de almacenamiento de agua (MAB, 2014). Asimismo, la “Guerra por el agua” en Cochabamba, Bolivia, se convirtió en un referente contra la privatización neoliberal

tive interests. These processes challenge the classic notion of state sovereignty and raise the need for new community sovereignties based on self-management, local knowledge and the construction of alternative models of life (Roca-Servat, 2024).

In this sense, water sovereignty is defined as the right of communities to decide—based on justice, equity and socio environmental equality—on the use, management and protection of water sources, including springs, streams, groundwater, rivers and seas. This right seeks not only to guarantee social and cultural benefits, but also to conserve and restore ecosystems. However, this sovereignty cannot remain at the local level, since hydrological processes are articulated in river basins and their contradictions transcend regional, national and international scales. Therefore, its implementation requires organizational processes that transcend the local level and are coordinated in national and regional networks, with the capacity of influencing the reconstruction of the traditional State-Nation and the consolidation of a democracy capable of overcoming the servility of the neoliberal governments that predominate in Latin America and in the Global South.

Likewise, water sovereignty can be a response to attempts at global water commodify and hoard water globally, where countries like the United States have focused their interest. This is reflected in the *White House Action Plan on Global Water Security* (White House, 2023), which declares water to be a national security issue and places the management, appropriation and commercialization of this resource within the scope of the United States Department of Defense.

In the current sociohistorical context, where water plays a central role in international disputes over natural resources, proposals are needed to build new ways of relating to nature, especially water. The separation between nature and society is, for some authors such as Gudynas (2010), the legacy of the European Renaissance. However, in the face of the current climate crisis, there is a growing need to update the socio environmental relationship towards a more comprehensive and non reductionist interaction.

One alternative could be the construction of hydrosocial territories, defined as “socially, naturally, and politically constituted spaces that are (re)creat-

del agua, la cual fue orquestada por organizaciones como el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional, quienes solicitaban la privatización de empresas públicas como condición para legalizar un préstamo, sin considerar las necesidades de las comunidades indígenas (Barrera-Cordero, 2009). Esta disputa derivó en la confrontación directa contra las multinacionales y el gobierno, en defensa de los bienes comunes de su territorio y la identidad.

En este sentido, el movimiento colombiano en defensa de los territorios y afectados por las represas “Ríos Vivos” (MRV) —con presencia en cuatro regiones del país: Antioquia, Santander, Caldas y Huila— trabaja por la construcción de proyectos alternativos con base en la soberanía hídrica y energética (Movimiento Colombiano Ríos Vivos, 2014; Roca-Servat, 2024). En México, el movimiento de afectados por las presas y en defensa de los ríos (MAPDER) también ha denunciado los impactos territoriales de presas y megaproyectos hídricos, y ha generado resistencia ante políticas de privatización (Gómez-Fuentes, 2015). Estas asociaciones, al compartir una problemática común, ponen en entredicho el concepto de soberanía hídrica.

Becerra-Ramírez et al. (2010) afirman que el concepto tradicional de soberanía se ha ido modificando debido a factores como la globalización, los convenios sobre derechos humanos, las transnacionales, el medio ambiente, el comercio exterior y los crímenes internacionales. A nivel Estado, la soberanía también ha sido cuestionada, especialmente en los gobiernos que priorizan los intereses extractivistas extranjeros. Estos procesos cuestionan la noción clásica de soberanía estatal y plantean la necesidad de nuevas soberanías comunitarias, basadas en la autogestión, el conocimiento local y la construcción de modelos alternativos de vida (Roca-Servat, 2024).

En este contexto, se plantea definir la soberanía hídrica como el derecho que tienen las comunidades a decidir —con base en la justicia, equidad e igualdad socioambiental— sobre el uso, gestión y protección de las fuentes hídricas, incluyendo nacimientos de agua, quebradas, aguas subterráneas, ríos y mares. Este derecho busca no solo garantizar el beneficio social y cultural, sino también la conservación y restauración de los ecosistemas. Sin embargo, esta soberanía no se puede quedar en el plano local, ya que los

ed through the interactions among human practices, water flows, hydraulic technologies, biophysical elements, socioeconomic structures and political-cultural institutions” (Boelens et al., 2017, p. 85). This proposal offers a space to analyze and construct alternative forms of relationships among society, nature and power, which opens up the possibility of consolidating sovereignty and decision making processes in territories, directed from the bottom up.

In this type of process, reforestation plans would be support activities linked to comprehensive projects that incorporate the different variables involved in the hydrological cycle. In short, reforestation cannot be reduced to the act of planting trees, because if we want to restore the socrionatural water cycle, we need to move beyond this reductionism and advance towards the consolidation of water sovereignties, where water is planned, protected and managed as an integral part of the community. This would allow us to build hydrosocial territories based on the collective management of water as an irreplaceable common good. In this way, water sovereignty would not depend on a single isolated activity, but on a set of planned, coordinated and sustained actions by active communities capable of developing new social technologies for the management, conservation and use of water.

Conclusions

This study highlights the complex relationship between reforestation plans, water sovereignty and hydrosocial territories. Although reforestation initiatives are often promoted as key solutions to environmental challenges in rural areas, particularly in mitigating water related problems, the analysis shows that their scope is limited if they are implemented as isolated interventions.

From the perspective of water sovereignty and hydrosocial territories, the effectiveness of reforestation plans in structurally impacting water crises was critically examined. While these initiatives contribute to conservation and can serve as a catalyst for environmental education, they do not, on their own, represent a comprehensive solution for water management.

In this regard, the importance of incorporating sociopolitical and economic dynamics as a reference

procesos hidrológicos se articulan en cuencas hidrográficas y sus contradicciones trascienden las escalas regionales, nacionales e internacionales. Por ello, su materialización requiere de procesos organizativos que trasciendan lo local y se articulen en redes de alcance nacional y regional, con capacidad de incidir en la reconstrucción del Estado-Nación tradicional y en la consolidación de una democracia capaz de superar el servilismo de los gobiernos neoliberales que predominan en América Latina y en el sur global.

Asimismo, la soberanía hídrica puede constituir una respuesta frente a los intentos de mercantilización y acaparamiento del agua a nivel mundial, donde países como Estados Unidos han centrado su interés. Esto se refleja en el *White House Action Plan on Global Water Security* (White House, 2023), donde se declara el agua como un asunto de seguridad nacional, y sitúa la gestión, apropiación y comercialización de este bien en el área de interés del Departamento de Defensa de dicho país.

En el contexto sociohistórico actual, donde el agua juega un papel central en las disputas internacionales sobre los bienes naturales, resultan necesarias las propuestas que permitan construir nuevas formas de relacionarse con la naturaleza, especialmente con el agua. La separación entre naturaleza y sociedad es, para algunos autores como Gudyas (2010), la herencia del renacimiento europeo. Sin embargo, ante la crisis climática actual surge la necesidad de actualizar la relación socioambiental hacia una interacción integral y no reduccionista.

Una alternativa podría ser la construcción de territorios hidrosociales, definidos como “espacios constituidos social, natural y políticamente que son (re)creados mediante las interacciones entre las prácticas humanas, los flujos de agua, las tecnologías hidráulicas, los elementos biofísicos, las estructuras socioeconómicas y las instituciones político-culturales” (Boelens et al., 2017, p. 85). Esta propuesta ofrece un espacio para analizar y construir formas alternativas de relaciones entre la sociedad, la naturaleza y el poder, lo cual abre la posibilidad de consolidar soberanías y procesos de toma de decisiones en los territorios, dirigidos de abajo hacia arriba.

En este tipo de procesos, los planes de reforestación serían actividades de apoyo articuladas a proyectos integrales, que incorporen las diferentes va-

for understanding the forms that water governance structures and principles take is emphasized. In a global scenario marked by growing pressure on water and conflicts arising from its distribution, a holistic approach that articulates sovereignty, community participation and sustainability is essential.

Considering the above, it is essential to recognize the limitations of reforestation plans as independent interventions and move toward multifaceted strategies that prioritize community empowerment, equitable resource distribution and long-term environmental resilience. Only through collaborative efforts and a holistic understanding of water management can the challenges facing these territories be effectively addressed, while safeguarding water sovereignty for present and future generations.

End of English version

References / Referencias

- Ávila, P. (2006). El valor social y cultural del agua. In V. Vásquez, D. Soares, A. de la Rosa, & Á. Serrano (Eds.), *Gestión y cultura del agua Tomo II* (pp. 233-248). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1158?show=full>
- Barrera-Cordero, J. (2009). La guerra del agua en Cochabamba: un caso de palabras que hablan mal. *Investigación Ambiental*, 1(1), 91-100.
- Becerra-Ramírez, M., Povedano-Amezola, A., & Téllez-Carvajal, E. (2010). *La soberanía en la era de la globalización*. Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/6/2790/5.pdf>
- Boelens, R., Hoogesteger, J., Swyngedouw, E., Vos, J., & Philippus, W. (2017). Territorios hidrosociales: una perspectiva desde la ecología política. In C. A. Salamanca-Villamizar, & F. Astudillo-Pizarro (Eds.), *Recursos, vínculos y territorios. Inflexiones transversales en torno al agua* (pp. 85-104). Universidad Nacional de Rosario Rosario. <https://rehip.unr.edu.ar/items/d15fbc1c-addd-4597-90d8-8af6a3099f98>
- Bolaños-González, J. (2003). El valle del Nilo: de la geografía al mito. *Cuadernos Geográficos*, 33, 75-103. <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/view/1912>
- Cervantes, V., Arriaga, V., & Carabias, J. (1996). La problemática socioambiental e institucional de la reforestación en la región de la montaña, Guerrero, México. *Botanical Sciences*, 59, 67-80. <https://doi.org/10.17129/botsci.1506>

riables que intervienen en el ciclo hidrológico. En definitiva, la reforestación no se puede reducir al acto de plantar árboles, pues si se quiere restaurar el ciclo siconatural del agua, es necesario superar ese reduccionismo y avanzar hacia la consolidación de soberanías hídricas, en donde el agua sea planificada, protegida y gestionada como parte integral de la comunidad. Esto permitiría construir territorios hidrosociales sustentados en la gestión colectiva del agua como bien común irremplazable. De esta manera, la soberanía hídrica no dependería de una sola actividad aislada, sino de un conjunto de acciones planificadas, articuladas y sostenidas por comunidades activas, capaces de desarrollar nuevas tecnologías sociales para la gestión, conservación y aprovechamiento del agua.

Conclusiones

Este estudio evidencia la compleja relación entre los planes de reforestación, la soberanía hídrica y los territorios hidrosociales. Aunque las iniciativas de reforestación se suelen promover como soluciones clave frente a los desafíos ambientales en áreas rurales, especialmente en la mitigación de problemas relacionados con el agua, el análisis realizado muestra que su alcance es limitado si se implementan como intervenciones aisladas.

A partir de la perspectiva de la soberanía hídrica y los territorios hidrosociales, se examinó críticamente la eficacia de los planes de reforestación para incidir de manera estructural en las crisis hídricas. Si bien estas iniciativas contribuyen a la conservación y pueden funcionar como un catalizador para la educación ambiental, por sí solas no representan una solución integral para la gestión del agua.

En este sentido, se subraya la importancia de incorporar las dinámicas sociopolíticas y económicas como referencia para comprender las formas que adquieren las estructuras y principios de gobernanza del agua. En un escenario global marcado por la presión creciente sobre el agua y por conflictos derivados de su distribución, resulta imprescindible un enfoque holístico que articule soberanía, participación comunitaria y sostenibilidad.

Considerando lo anterior, es esencial reconocer las limitaciones de los planes de reforestación como intervenciones independientes y avanzar hacia estrate-

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). *Cutzamala: Diagnóstico integral*. World Bank Group. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/309801468189248037/pdf/99219-P150092-SPANISH-WP-PUBLIC-Box393194B.pdf>

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2011). *Evaluación de costos de establecimiento y mantenimiento de plantaciones forestales comerciales*. CONAFOR. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/5/4137Evaluaci%C3%B3n%20de%20costos%20de%20establecimiento%20y%20mantenimiento.pdf>

Fernández-Pérez, L., Ramírez-Marcial, N., & González-Espinosa, M. (2013). Reforestación con *Cupressus lusitanica* y su influencia en la diversidad del bosque de pino-encino en los altos de Chiapas, México. *Botanical Sciences*, 91(2), 207-216. <https://www.scielo.org.mx/pdf/bs/v91n2/v91n2a8.pdf>

Gobierno municipal. (2022). *Plan de Desarrollo Municipal 2022-2024: Donato Guerra*. Presidencia Municipal de Donato Guerra https://copladem.edomex.gob.mx/sites/copladem.edomex.gob.mx/files/files/pdf/Planes%20y%20programas/Mpales-2022-2024/DonatoGuerra_PDM_2022-2024.pdf

Gómez-Fuentes, C. A. (2015). Redes y movimientos sociales en contra de la construcción de presas en México. El caso del Movimiento Mexicano de Afectados por las Presas y en Defensa de los Ríos. *Revista Espacio Académico*, 14(167), 05-15. <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/EspacioAcademico/article/view/26856>

Gudynas, E. (2010). Imágenes, ideas y conceptos sobre la naturaleza en América Latina. *Cultura y Naturaleza*, 267-292. <http://www.gudynas.com/publicaciones/capitulos/GudynasConceptosNaturalezaCo10.pdf>

Manson, R. (2004). Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques*, 10(1), 3-20. <https://doi.org/10.21829/myb.2004.1011276>

Martínez-Rangel, R., & Soto-Reyes, E. (2012). El Consenso de Washington: la instauración de las políticas neoliberales en América Latina. *Política y Cultura*, 37, 35-64. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26723182003>

Martínez-Ruiz, J., & Murillo-Licea, D. (2016). *Agua en la cosmovisión de los pueblos indígenas en México*. Comisión Nacional del Agua. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/agua-cosmovision/Agua_en_la_Cosmovisi.pdf

Molina-Pereira, Y. (2019). La reforestación como estrategia ambiental para la conservación de ríos y quebradas. *Revista Científica*, 4(13), 182-199. <https://www.redalyc.org/journal/5636/563659492010/html/>

Movimiento Colombiano Ríos Vivos. (2014). Ríos vivos de Colombia: Una apuesta por la soberanía hídrica y energética. In C.

gias multifacéticas que prioricen el empoderamiento comunitario, la distribución equitativa de recursos y la resiliencia ambiental a largo plazo. Solo a través de esfuerzos colaborativos y la comprensión holística de la gestión del agua se podrán abordar, de manera efectiva, los desafíos que enfrentan los territorios, al mismo tiempo que se salvaguarda la soberanía hídrica para las generaciones presentes y futuras.

Fin de la versión en español

Composto, & L. Mina (Eds.), *Territorios en disputa: Despojo capitalista, luchas en defensa de los bienes comunes naturales y alternativas emancipatorias para América Latina* (pp. 220-232). Bajo Tierra. https://horizontescomunitarios.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/02/territorios_en_disputa_bienes_comunes.pdf

Movimiento de los Afectados por las Represas (MAB). (2014). *Movimiento de los afectados por las represas afirman que hidroeléctricas agravaron inundación en el Madera*. Alianza Biodiversidad. https://www.biodiversidadla.org/Documentos/Movimiento_de_los_Afectados_por_las_Represas_afirman_que_hidroelectricas_agravaron_inundacion_en_el_Madera

Muñoz, E., González, K., Muñoz, C., & Patiño, C. (2018). Formulación y evaluación de proyectos para el manejo sostenible de recursos naturales por marco lógico: Análisis de la metodología. *V Congreso internacional de la ciencia, tecnología, emprendimiento e innovación*, 435-450. https://www.researchgate.net/publication/330673953_FORMULACION_Y_EVALUACION_DE_PROYECTOS_PARA_EL_MANEJO_SOSTENIBLE_DE_RECURSOS_NATURALES_POR_MARCO_LOGICO_ANALISIS_DE_LA_METODOLOGIAAt_Riobamba-Ecuador

O'Connor, J. (2002). ¿Es posible un capitalismo sostenible?. *Papeles de Población*, 6(24), 9-35. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-7425200000200002&lng=es&tIng=es

Olmos-Severiche, C., González-Agudelo, E. M., Vélez-Macías, F. J., & Aguirre-Ramírez, N. J. (2022). Los canales Zenúes en Colombia: un desaparecido en el territorio y un desconocido en el bolsillo. *Intropica*, 17(1), 132-145. <https://doi.org/10.21676/23897864.4052>

Olvera, S. (2006). Entidades sagradas y agua en la antigua religión andina. *Latinoamérica-Revista de estudios Latinoamericanos*, 43, 85-111. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_

- arttext&pid=S1665-85742006000200085&lng=es&tlnges
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2024). *¿Qué es el cambio climático?*. ONU. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
- Orozco-Espinoza, F. (2019). *Plan de reforestación del manglar en la localidad de El Carrizal, municipio de Coyuca de Benítez, Guerrero* [Master's thesis]. Universidad Autónoma de Guerrero. <http://ri.uagro.mx/handle/uagro/2861>
- Ortegón, E., Pacheco, J., & Prieto, A. (2015). *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. Naciones Unidas. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/2d86ecfb-f922-49d3-a919-e4fd4d463bd7/content>
- Poveda-Jaramillo, G., & Mesa-Sánchez, O. (1995). Efectos hidrológicos de la deforestación. *Energética*, 91-102. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57099>
- Rebollar-Domínguez, S., Santos-Jiménez, V., & Sánchez-Aguilar, R. L. (2016). Estrategias de recuperación de selvas en dos ejidos de Quintana Roo, México. *Madera y Bosques*, 8(1), 19-38. <https://doi.org/10.21829/myb.2002.811303>
- Roca-Servat, D. (2024). Pensar con el agua: formas de lo común y soberanías alternativas. In Ó. Castillo, & D. Roca-Servat (Eds.), *Ecología política, sufrimiento socioambiental y acción política. Algunos debates contemporáneos en América Latina* (pp. 87-113). CLACSO. <https://libreria.clacso.org/publicacion.php?p=3192&c=5>
- Rodríguez-Becerra, M. (2004). Reforestación comunitaria y conflicto. In M. Cárdenas, & M. Rodríguez (Eds.), *Guerra, sociedad y medio ambiente* (pp. 175-251). Foro Nacional Ambiental. <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/01993/06.pdf>
- Rosas, P., & Scheinvar, E. (2014). Agroecología y resistencia: experiencias en movimientos campesinos brasileiros (MST/MPA). In C. Composto, & L. Mina (Eds.), *Territorios en disputa: Despojo capitalista, luchas en defensa de los bienes comunes naturales y alternativas emancipatorias para América Latina* (pp. 233-248). Bajo Tierra. https://horizontescomunitarios.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/02/territorios_en_disputa_bienes_comunes.pdf
- Rosas-Landa, O. (2012). La lucha legal por la justicia hídrica: México en el tribunal latinoamericano del agua. *El Cotidiano*, 173, 67-79. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32523131008>
- Sánchez-Chávez, I., González-Aldana, R. A., & Fuentes-Téllez, J. M. (2023). Forestación y reforestación del municipio de Aldama con especies endémicas. In J. F. Sarmiento-Franco (Ed.), *Nuevas territorialidades-gestión de los territorios y recursos naturales con sustentabilidad ambiental*. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM. <http://ru.iiec.unam.mx/6098/>
- Seoane, J. (2006). Movimientos sociales y recursos naturales en América Latina: resistencias al neoliberalismo, configuración de alternativas. *Sociedade e Estado*, 21(1), 85-107. <https://doi.org/10.1590/S0102-69922006000100006>
- Vargas, A. (1997). Ventajas del proceso de reforestación sobre la atenuación de la erosión y propuesta de protección y desarrollo de un área de recarga en el valle central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 19, 155-165. <https://archivo.revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/view/8632/8160>
- White House. (2023). *White house action plan on global water security*. The White House. https://bidenwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2022/06/water-action-plan_final_formatted.pdf



Exceptional maize production in wetlands: the milpa marceña of Tabasco, Mexico

Juan Rogelio Aguirre Rivera¹
Ángel Isauro Ortiz Ceballos^{2*}

Abstract

In the geomorphological region known as the Southeast Coastal Plain, between the Tonalá and Grijalva rivers, lies the Tabasco floodplain, which forms a large wetland dominated by seasonal swamps with herbaceous vegetation known as popal or popalería. The popal lands remain variably flooded (up to 2 m) from July to February, due to overflowing rivers and abundant local precipitation (about 2000 mm). In March, the popal is grazed to be sown with Mejen maize and several cucurbits, harvested in June; this is the milpa marceña. The fertility of the soil is annually renewed and the remaining soil humidity allows plots with popal to be used frequently, with corn yields similar to or higher than those obtained with later improved crops, under chemical fertilization and irrigation, but on other soils in the region. Compared to the slash-and-burn milpa of non-floodable lands, the milpa marceña requires 30% fewer working days for its production. The grain yield of the traditional maize crop in this production system (Mejen) is similar to that of the later varieties Olotillo and Dzit Bacal (its probable progenitors), but Mejen differs from them in its shorter (intermediate) cycle, without compromising grain yield.

Keywords: Lowlands, popal, agroecology, alluvial soils, Mejen maize.

Producción excepcional de maíz en humedal: la milpa marceña de Tabasco, México

Resumen

En la región geomórfica denominada Planicie Costera del Sureste, entre los ríos Tonalá y Grijalva, se encuentra la planicie aluvial tabasqueña, la cual conforma un gran humedal con predominio de pantanos estacionales de vegetación herbácea conocida como popal o popalería. Las tierras de popal permanecen variablemente anegadas (hasta 2 m) de julio a febrero, por el desbordamiento de los ríos y por la abundante precipitación local (unos 2000 mm). En marzo el popal se roza para sembrarlo con maíz Mején y varias cucurbitáceas, cosechándose en junio; esta es la milpa marceña. La fertilidad del suelo renovada anualmente y la humedad remanente permite utilizar frecuentemente las parcelas con popal, con rendimientos de maíz similares o superiores a los obtenidos con cultivares mejorados más tardíos, bajo fertilización química y riego, pero en otros suelos de la región. En comparación con la milpa roza-tumba-quema de las tierras no inundables, la milpa marceña requiere 30 % menos jornadas para su producción. El rendimiento de grano del cultivar tradicional de maíz de este sistema de producción (Mején), es similar al de las razas más tardías Olotillo y Dzit Bacal (sus probables progenitores), pero el Mején se diferencia de ellas por su ciclo más corto (intermedio), sin menoscabo del rendimiento de grano.

Palabras clave: Interpolación espacial, requerimientos de riego, evapotranspiración, precipitación efectiva, QGIS.

¹Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas. Av. Salvador Nava Martínez núm. 382, Zona Universitaria, San Luis Potosí, S.L.P. C.P. 78290. México.

²Universidad Veracruzana, Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, ave. Culturas Veracruzanas núm. 101, Col. Emiliano Zapata, Xalapa, Veracruz. C. P. 91090. México.

*Corresponding author: angortiz@uv.mx Tel: 2283480109, ORCID ID: 0000-0001-8700-4503.

Introduction

The milpa marceña is a very peculiar maize production variant since it is currently confined to the seasonally flooded lowlands of Tabasco's alluvial coastal plain. This milpa is part of the traditional system of renewable natural resources, practiced by Chontal farmers. (Maimone et al., 2006), and is closely linked to the climatic grassland (Beard, 1944, 1955; Miranda, 1958) known as popal (Miranda, 1958; Miranda & Hernández, 1963), which remains flooded from early June at the beginning of the rainy season until early March, when the crop cycle of the milpa marceña starts with its machete cutting.

The milpa marceña is clearly prehispanic, since, as Whitmore & Thurner II (2001) point out, of all the indigenous cultivation methods, none was more productive, complex and unfamiliar to the Spanish than the wetland systems, particularly in the swamps of Tabasco. It is very likely that the marceña milpa was one of the main components of the Olmec subsistence system. However there is only a somewhat vague record of its existence at the end of the nineteenth century, due to coincident planting and harvesting dates (Gil & Sáenz, 1884), and its first general description was published 100 years later (Ruvalcaba, 1982). This essay first documents the natural environment of the popal and its surrounding, complemented with unpublished data on the vegetation, soil and water of a popal, and ends with a descriptive synthesis of the milpa marceña and the peculiarities of the traditional crop of this maize production system.

The objective of this article is to integrate and complement the ecological characterization of the popal and the description of the milpa marceña. To this end, it is postulated as a hypothesis that the outstanding productivity and ecological persistence of the popal, within the environmental complexity of the Southeastern Coastal Plain, explain the origin and permanence of the milpa marceña.

Topic Development

Study Area

The study area is located in the Southeastern Coastal Plain, a geomorphic region limited to the west by the Sierra of San Martín Tuxtla, to the east by the Yucateca platform and to the south by the Sierra Madre of

Introducción

La milpa marceña es una variante de producción de maíz muy peculiar porque está circunscrita actualmente a las tierras bajas inundables estacionalmente de la planicie costera aluvial de Tabasco. Esta milpa forma parte del sistema tradicional de aprovechamiento de recursos naturales renovables, practicado por campesinos chontales (Maimone et al., 2006), y está vinculada espacialmente al herbazal climático (Beard, 1944, 1955; Miranda, 1958) conocido como popal (Miranda, 1958; Miranda & Hernández, 1963), el cual permanece inundado desde principios de junio con el inicio del periodo de lluvias hasta principios de marzo, cuando con su corte con machete comienza el ciclo de cultivo de la milpa marceña.

La milpa marceña es claramente prehispánica, pues como señalan Whitmore & Thurner II (2001) de todas las formas de cultivo indígenas, ninguna fue más productiva, compleja y extraña para los españoles que los sistemas de humedales, particularmente en los pantanos de Tabasco. Es muy probable que la milpa marceña fuera uno de los componentes principales del sistema de subsistencia olmeca. Sin embargo, solo se tiene un registro algo vago de su existencia a finales del siglo diecinueve, por las fechas de siembra y cosecha coincidentes (Gil & Sáenz, 1884), y su primera descripción general se publicó 100 años después (Ruvalcaba, 1982). En este ensayo se documenta primero el ambiente natural del popal y su entorno, complementado con datos inéditos sobre la vegetación, suelo y agua de un popal, para terminar con una síntesis descriptiva de la milpa marceña y de las peculiaridades del cultivar tradicional de este sistema de producción de maíz.

El objetivo de este artículo es integrar y complementar la caracterización ecológica del popal y la descripción de la milpa marceña. Para ello, se postula como hipótesis que la productividad y persistencia ecológica sobresalientes del popal, dentro de la complejidad ambiental de la Planicie Costera del Sureste, explican el origen y permanencia de la milpa marceña.

Desarrollo del Tema

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en la Planicie Costera del Sureste, región geomórfica limitada al oeste por

Oaxaca, the Sierra Atravesada and the Central Meseta of Chiapas. It covers the southern part of the state of Veracruz, almost all of Tabasco and smaller parts of Campeche, Chiapas and Oaxaca; it is 350 km long and has an average width of 125 km, with little variation in its relief and slope. Until the end of the Mesozoic, when the Central Meseta of Chiapas rose, the region was submerged and extended to the Chiapas Central Depression. The erosion of the Meseta, the Atravesada and Madre de Oaxaca mountain ranges, and the drainage of the Depression, provided the materials that have formed this large alluvial plain (Tamayo, 2013). In this regard, it should be noted that the average annual runoff from the five most significant rivers in the region (Usumacinta, Grijalva, Papaloapan, Coatzacoalcos y Tonalá) represents almost half of the total estimated runoff for the Mexican Republic (García & Falcón, 1993). These large rivers with sinuous and dispersed channels generate natural fluvial systems or environments with complex and dynamic micro-reliefs: riverbeds with their natural edges or natural levees, floodplains, free meanders which change their configuration and position with large floods, leaving the plains dotted with streambanks, riverbanks and abandoned river channels, meandering strands and elongated bogs; and the drainage of overflows and *in situ* precipitation generates a riparian dendritic network connected with lakes and lagoons, and with permanent or seasonal swamps scattered over the plains (Hardy, 1970; Lugo, 1989; Gutiérrez, 2008).

Originally, the Grande de Chiapas or Mezcalapa river divided the Tabasco alluvial plain in half, between the Tonalá and Grijalva rivers, and flowed into Dos Bocas Bay, but in the 17th century its course was intentionally diverted eastward to connect with the González and Grijalva (Tamayo, 2013). Thus, this diversion of the original channel, its three large storage (Malpaso, Chicoasén and Angostura) and the artificial drainage of 50 000 ha of Plan Chontalpa, have deeply altered the dynamics and characteristics of the original fluvial system of this part of the plain.

Weather

Plant species which make up the popal lack lignification, and their very large, soft, light green leaves are abundant and densely cover the surface, indica-

la sierra de San Martín Tuxtla, al este por la plataforma yucateca y al sur por la Sierra Madre de Oaxaca, la Sierra Atravesada y la Meseta Central de Chiapas. Comprende el sur del estado de Veracruz, casi todo Tabasco y partes menores de Campeche, Chiapas y Oaxaca; presenta una longitud de 350 km y una anchura media de 125 km, con escasa variación en su relieve y pendiente. Hasta finales del mesozoico, cuando la Meseta Central de Chiapas se elevó, la región estaba sumergida y se extendía hasta la Depresión Central chiapaneca. La erosión de la Meseta, de las sierras Atravesada y Madre de Oaxaca, y el drenaje de la Depresión, aportaron los materiales que han conformado esta gran planicie aluvial (Tamayo, 2013). Al respecto, cabe señalar que la escorrentía media anual de los cinco ríos más significativos de la región (Usumacinta, Grijalva, Papaloapan, Coatzacoalcos y Tonalá) representan casi la mitad de la escorrentía total estimada para la República mexicana (García & Falcón, 1993). Estos grandes ríos con cauces sinuosos y dispersos, generan sistemas o medios fluviales naturales con microrrelieves complejos y dinámicos: cauces con sus bordes o diques naturales, planicies de inundación, meandros libres que cambian su configuración y posición con las grandes avenidas, dejando las planicies salpicadas de bancos de ribera, bancos de cauces y cauces abandonados, cordones de meandros y ciénegas alargadas; y el drenaje de los desbordamientos y de la precipitación *in situ* genera una red dendrítica riparia conectada con lagos y con lagunas, y con pantanos permanentes o estacionales dispersos sobre la planicie (Hardy, 1970; Lugo, 1989; Gutiérrez, 2008).

Originalmente el río Grande de Chiapas o Mezcalapa partía por mitad la planicie aluvial tabasqueña entre los ríos Tonalá y Grijalva, y desembocaba en la bahía de Dos Bocas, pero en el siglo XVII su cauce fue desviado intencionalmente hacia el este para conectarlo con los ríos González y Grijalva (Tamayo, 2013). Así, este desvío del cauce original, sus tres grandes presas de almacenamiento (Malpaso, Chicoasén y Angostura) y el drenaje artificial de 50 000 ha del Plan Chontalpa, han alterado profundamente la dinámica y características del sistema fluvial original de esta porción de la planicie.

Clima

Las especies de plantas que componen el popal carecen de lignificación, y sus hojas muy grandes, suaves,

ting that there is no humidity deficit in their habitat (Miranda, 1958). Regionally, differences in the vegetation of swamps or wetlands are mainly due to the extent and depth of flooding and the amount of salts in the water (Beard, 1944; López, 1980).

The regional climate of Tabasco's popal is fairly homogeneous (López, 1980). Based on data from four weather seasons (Cárdenas, Comalcalco, Huimanguillo, and Jalpa de Méndez), it can be established that the average annual precipitation varies between 1,871.5 and 2,251.0 mm, the average annual temperature between 26.0 and 26.6 °C, and precipitation in the driest (least humid) month from 46.7 to 55.0 mm, which corresponds to March and only in Comalcalco occurs in April. The Köppen climate formula modified by García (2004) for the four seasons is Am(f)(i')gw". The symbols in this formula correspond respectively to a climate: a) "very warm," as its average temperature in the coldest month is greater than 18 °C and its average annual temperature is greater than 26 °C; b) "humid," with total annual precipitation less than 2,500 mm, precipitation in the driest month less than 60 mm, and percentage of winter rainfall greater than 10.2 of the annual total; c) with "little temperature variation," since its extreme monthly average temperatures vary between 5 and 7 °C; with an annual temperature pattern similar to that of the Ganges, i.e., the hottest month of the year occurs before the summer solstice; and with a prolonged dry (less humid) season in winter and a short one in summer (García, 2004).

Soil

Soils come from river deposits that overflow or move sideways, found in the middle and widest part of the floodplain, between the natural banks (edges or levees) of the riverbeds and the lowest parts of the plain. The Popal materials that form the edges raised above the level of the plain have the coarsest textures (fine sands and silts) of those deposited outside the riverbeds, and form fertile, well-drained soils, without prolonged flooding, but well supplied with capillary humidity from the permanent streams that channel them. The lowest parts of the plain have soils that are permanently flooded or at least saturated throughout the year, as this is where the smallest and lightest sediments (clays) are deposited. In con-

de color verde claro y muy abundantes cubren densamente la superficie, de manera que esta formación denota la ausencia de déficit de humedad en su hábitat (Miranda, 1958). Regionalmente las diferencias en la vegetación de pantanos o humedales son debidas principalmente a la duración y profundidad de la inundación y a la cantidad de sales en el agua (Beard, 1944; López, 1980).

El clima regional del popal tabasqueño es bastante homogéneo (López, 1980). Con base en los datos de cuatro estaciones meteorológicas (Cárdenas, Comalcalco, Huimanguillo y Jalpa de Méndez) se puede establecer que la precipitación media anual varía entre 1 871.5 y 2 251.0 mm, la temperatura media anual de 26.0 a 26.6 °C, y la precipitación del mes más seco (menos húmedo) de 46.7 a 55.0 mm, lo cual corresponde a marzo y solo en Comalcalco ocurre en abril. La fórmula climática de Köppen modificada por García (2004) para las cuatro estaciones es Am(f)(i')gw". Los símbolos de esta fórmula corresponden respectivamente a un clima: a) "muy cálido", pues su temperatura media del mes más frío es mayor que 18 °C y su temperatura media anual mayor que 26 °C; b) "húmedo", con precipitación total anual menor que 2 500 mm, precipitación del mes más seco menor que 60 mm y porcentaje de lluvia invernal mayor que 10.2 del total anual; c) con "poca oscilación térmica", pues sus temperaturas medias mensuales extremas presentan diferencias entre 5 y 7 °C; con marcha anual de la temperatura tipo Ganges, esto es, que el mes más caliente del año se presenta antes del solsticio de verano; y con una época seca (menos húmeda) prolongada en el invierno, y otra corta en el verano (García, 2004).

Suelo

Los suelos del popal corresponden a los depósitos fluviales de desbordamiento o migración lateral, situados en la porción intermedia y más extensa de la planicie de inundación, entre los diques naturales (bordes o albardones) de los cauces y las porciones más bajas de la planicie. Los materiales que forman los bordes elevados sobre el nivel de la planicie presentan las texturas más gruesas (arenas finas y limos) de los depositados fuera de los cauces, y conforman suelos fértiles, bien drenados, sin inundaciones prolongadas, pero bien abastecidos de humedad capi-

trast, in the more extensive intermediate plains, flooding, of varying frequency and intensity, only occurs during the heavy rains of the annual rainy season; the width and length of these terrains favor a reduction in the speed of overflowing waters and an increase in the sedimentation of fine alluvium such as silt, clay, organic detritus and solutes, and edaphic colloids (Hardy, 1970; Gutiérrez, 2008; Schaetzl & Thompson, 2015). Alluvial sedimentation in the middle portions of the plain generally occurs in horizontal, stratified, and well-defined layers, which, with depth, allow for a very gradual decrease in organic carbon content. Thus, in the Nile River Valley, it has been documented that an annual increase of only one millimeter of alluvium contributes 0.1 to 0.2% to the nitrogen content of the surface soil, and that the decomposition of organic matter occurs progressively in the sediment layers (Boul et al., 2003). However, a major flood can deposit a layer of alluvium 50 to 55 cm thick in large portions of the intermediate plain (Ritter, 2002).

By regularly receiving deposits of fresh alluviums, associated with annual floods, these soils present high fertility and continuously renewable; in addition, in the dry period, surface organic matter is quickly mineralized, and its characteristic surface water table undergoes strong oscillations generating oxygenation of the water and humidity gradients supplied by capillary ascension, both normal and accelerated by surface evaporation (Hardy 1970; Duchaufour 1975). These exceptional qualities for crop production during the dry period of the year, of the soils of the alluvial plains, were recognized and appreciated by the ancestral farmers and by the traditional peasants today (Boul et al., 2003).

For their constant renewal, absence of pedogenetic horizons and fluvial origin, the soils of the popales correspond to the Entisoles order, suborder Fluvents, which is equivalent to the previous order Azonales and large group Aluviales (Boul et al., 2003; Schaetzl & Thompson, 2015).

Popal or popalería is a type of primary vegetation

J. S. Beard (1944) established the basis for the systematic and comprehensive study of tropical american vegetation. His classification system was based on three criteria levels: physiognomic structural grouping (formation), habitat grouping (formation series), and

lar de las corrientes permanentes que encauzan. Las porciones más bajas de la planicie presentan suelos permanentemente inundados o al menos saturados durante todo el año, pues allí se depositan los sedimentos de menor tamaño y peso (arcillas). En cambio, en las planicies intermedias más extensas, las inundaciones, con frecuencia e intensidad variables, solo ocurren durante las grandes avenidas del período anual de lluvias; la amplitud y longitud de estos terrenos favorecen la reducción de la velocidad de las aguas desbordadas y el incremento de la sedimentación de aluviones finos como limos, arcillas, detritus orgánicos y solutos, y coloides edáficos (Hardy, 1970; Gutiérrez, 2008; Schaetzl & Thompson, 2015).

La sedimentación de aluviones en las porciones intermedias de la planicie generalmente se presenta en capas horizontales, estratificadas y bien definidas, lo cual con la profundidad permite un descenso muy suave del contenido de carbono orgánico; así, en el Valle del Río Nilo se ha documentado que un incremento anual de solo un milímetro de aluvión aporta de 0.1 a 0.2 % al contenido de nitrógeno del suelo superficial, y que la descomposición de la materia orgánica ocurre progresivamente en las capas de sedimentos (Boul et al., 2003). Sin embargo, una gran avenida fluvial puede depositar una capa de aluviones de 50 a 55 cm de espesor en grandes porciones de la planicie intermedia (Ritter, 2002).

Al recibir regularmente depósitos de aluviones frescos, asociados a las inundaciones anuales, estos suelos presentan fertilidad alta y continuamente renovable; además, en el período seco, la materia orgánica superficial se mineraliza rápidamente, y su capa freática superficial característica sufre oscilaciones fuertes que generan oxigenación del agua y gradientes de humedad abastecidos por ascensión capilar, tanto normal como acelerada por la evaporación superficial (Hardy, 1970; Duchaufour, 1975). Estas cualidades excepcionales para la producción de cosechas durante el período seco del año, de los suelos de las planicies aluviales, fueron reconocidas y apreciadas por los agricultores ancestrales y por los campesinos tradicionales actuales (Boul et al., 2003).

Por su renovación constante, ausencia de horizontes pedogenéticos y origen fluvial, los suelos de los popales corresponden al orden Entisoles, suborden Fluvents, lo cual es equivalente al anterior orden Azona-

floristic grouping (association) (Beard, 1944, 1955). By reviewing the relative importance of environmental factors on vegetation, Beard (1944) recognized that water availability determines to a greater extent the characteristics and distribution of primary vegetation, and that such availability depends not only on total precipitation and its distribution over the year, but also on the effects of topography and soil type on its storage and retention, and on the evaporative capacity of the surrounding atmosphere.

For Beard (1944) any important variation in the physiognomy of primary vegetation can be explained in terms of these hydrological relationships; therefore, considerations about the habitat of the formations are reduced to questions of available humidity. According to this author, the optimal habitat where water availability is ideally favorable, should have deep, permeable and well drained soil, with enough available humidity throughout the year, free from strong winds and excessive evaporation, and without flooding, dry season without frost; these conditions naturally favor the tallest, most exuberant and complex type of vegetation in tropical America, the high evergreen rainforest; but these conditions are weird, as are areas with excess of water, and which predominate is the greater or lesser scarcity of water in a certain part of the year. Thus, when moving away from optimal habitat and increasing water adversity, Beard (1944) recognized five suboptimal habitat categories, the most extreme of which corresponds to poorly drained lands subject to flooding, to which swamp formations, characteristic of natural river systems, belong.

According to Beard (1944), a swamp or cienega is a type of habitat where soil remains flooded or saturated, without ever becoming absolutely dried. The differentiation of the optimal habitat of the high evergreen forest, due to the excess of water, begins when the soil is flooded during a short period of the year; the more prolonged seasonal flooding generates a lower physiognomy, specialized vital forms and floristic impoverishment, and in the swamp the forest is reduced first to tall grassland, then to a mat of floating herbaceous plants and ends when an open body of water appears (Beard, 1944, 1955).

Only specialized plant species (hydrophilic) can persist in flooded soils (Beard, 1944; Smith & Smith,

les y gran grupo Aluviales (Boul et al., 2003; Shaetzel & Thompson, 2015).

El popal o popalería es un tipo de vegetación primario

J. S. Beard (1944) estableció las bases para el estudio sistemático e integral de la vegetación tropical americana. Su sistema de clasificación se basó en tres niveles o criterios: agrupamiento estructural fisonómico (formación), agrupamiento por hábitat (series de formación) y agrupamiento florístico (asociación) (Beard, 1944, 1955). Al revisar la importancia relativa de los factores ambientales sobre la vegetación, Beard (1944) reconoció que la disponibilidad de agua determina en mayor medida las características y distribución de la vegetación primaria, y que dicha disponibilidad depende no solo de la precipitación total y su distribución en el año, sino también de los efectos de la topografía y el tipo de suelo sobre su almacenamiento y retención, y de la capacidad evaporativa de la atmósfera circundante.

Para Beard (1944) toda variación importante en la fisonomía de la vegetación primaria puede ser explicada en términos de estas relaciones hídricas; por ello, las consideraciones sobre el hábitat de las formaciones se reducen a cuestiones de humedad disponible. Según este autor, el hábitat óptimo donde la disponibilidad de agua es idealmente favorable, debe presentar suelo profundo, permeable y bien drenado, con humedad disponible suficiente durante todo el año, libre de vientos fuertes y evaporación excesiva, y sin inundación, estación seca sin heladas; estas condiciones naturalmente favorecen al tipo de vegetación más alto, exuberante y complejo de América tropical, la selva alta perennifolia; pero estas condiciones son muy poco comunes, al igual que las áreas con exceso de agua, y lo que predomina es la mayor o menor escasez de agua en cierta parte del año. Así, al alejarse del hábitat óptimo e incrementarse la adversidad hídrica, Beard (1944) reconoció cinco categorías subóptimas de hábitats, la más extrema de las cuales corresponde a las tierras con drenaje deficiente sujetas a inundación, a las que pertenecen las formaciones de pantano, características de los sistemas fluviales naturales.

De acuerdo con Beard (1944), un pantano o ciénega es un tipo de hábitat donde el suelo permanece inundado o saturado, sin que nunca llegue a estar

2009). According to Jananer & Jolánkai (2008), this explains why only about 700 aquatic plant species are known, and they point out that despite their small population, very little is known about their biology in general. Aquatic or semi aquatic macrophytes can be recognized at a glance and the emergent wetland or helophytic have most of their stems in the air (Font Quer, 1953). Helophytes are quite similar to terrestrial plants in their water economy (stomatal regulation, cuticles and waxy coverings); however, O_2 transport to rhizomes (bodies which characterize them) and roots embedded in O_2 deficient or anaerobic sediments takes place through an extensive lagoon system, and during prolonged periods of anaerobiosis, rhizome metabolism may switch from respiration to fermentation, and CO_2 generated in the sediments may be taken up by the root system as an additional source of carbon (Jananer & Jolánkai, 2008).

In helophytes sexual reproduction is usually of little importance, because, although they mostly flower above the surface, asexual reproduction is the main way of their propagation; thus, fragmentation and dispersal of rhizomes and massive growth of the rhizomatous system are competitive adaptations that result in nearly monospecific and persistent stands, typical of swamp vegetation (Jananer & Jolánkai, 2008). Due to the full availability of water, the richness of nutrients replenished annually by flooding, and access to atmospheric CO_2 , the net productivity of helophyte grasslands is usually higher than that of terrestrial plant communities and other floodplain habitats with similar thermal regimes (Jananer & Jolánkai, 2008).

The helophyte grasslands in Mexico are called popales and are recognized as a type of primary vegetation (Miranda, 1958; Miranda & Hernández, 1963; Flores et al., 1971). The origin and meaning of popal is uncertain. Although for Santamaría (1992) popal is derived from nahuatl *potoni*, heder and *palli* barro negro (black clay), the word popal is absent from most nahuatl dictionaries (Robelo, 1904; Siméon, 1977; Portugal, 2015). Instead, Miranda (1958) suggests that it could derive from popoay (zoque word which means white leaf), common name of *Calathea lutea*, one of the species that can be found in abundance in popal, but according to Barrera (1991) po-

absolutamente seco. La diferenciación del hábitat óptimo de la selva alta perennifolia, debida al exceso de agua, comienza cuando el suelo se inunda durante un periodo corto del año; la inundación estacional más prolongada genera una fisonomía más baja, formas vitales especializadas y empobrecimiento florístico, y en el pantano la selva se reduce primero a un herbazal alto, luego a un manto de herbáceas flotantes y se termina al presentarse un cuerpo de agua abierto (Beard, 1944, 1955).

Solo especies vegetales especializadas (hidrófilas) pueden persistir en suelos inundados (Beard, 1944; Smith & Smith, 2009). Según Jananer & Jolánkai (2008), esto explica que solo se conozcan unas 700 especies de plantas acuáticas, y señalan que a pesar de su número reducido aún se conoce muy poco de su biología en general. Las macrófitas acuáticas o semiacuáticas pueden ser reconocidas a simple vista, y las macrófitas emergidas de pantano o helófilas presentan la mayor parte de su tallo en el aire (Font Quer, 1953). Las helófilas son bastante similares a las plantas terrestres en su economía hídrica (regulación estomatal, cutículas y coberturas cerosas); sin embargo, el transporte de O_2 a los rizomas (órganos que las caracterizan) y raíces embebidas en sedimentos deficientes en O_2 o anaerobios se realiza a través de un sistema lagunoso extenso, y durante períodos de anaerobiosis prolongados, el metabolismo de los rizomas puede cambiar de respiración a fermentación, y CO_2 generado en los sedimentos puede ser tomado por el sistema radical, como fuente adicional de carbono (Jananer & Jolánkai, 2008).

En las helófilas la reproducción sexual suele ser de poca importancia, pues, aunque en su mayoría florecen arriba de la superficie, la reproducción asexual es la forma principal de su propagación; así, la fragmentación y dispersión de rizomas y el crecimiento masivo del sistema rizomatoso son adaptaciones competitivas que resultan en rodales casi monoespecíficos y persistentes, típicos de la vegetación de pantanos (Jananer & Jolánkai, 2008). Debido a la disponibilidad plena de agua, la riqueza de nutrientes repuesta anualmente con las inundaciones y el acceso al CO_2 atmosférico, la productividad neta de los herbazales de helófilas suele ser superior a la de comunidades de plantas terrestres y de otros hábitats inundables con regímenes térmicos similares (Jananer & Jolánkai, 2008).

**Figure 1. Popal (*Thalia geniculata* L.) in full growth (october 2015). Huimango, Cunduacán, Tabasco.
Figura 1. Popal (*Thalia geniculata* L.) en pleno crecimiento (octubre 2015). Huimango, Cunduacán, Tabasco.**



pal comes from the Mayan names pop or poop designated to reeds and (other helophytes), and to the petate (mat) or estera (straw mat) made with stems. The original area occupied by the popal (southwest Campeche, northern Chiapas, southern Veracruz, and the Tabasco plain) could have been at least 3,945.1 km² (Flores et al., 1971) before the hydrological alterations of the Southeast Coastal Plain, caused by large hydroelectric and drainage projects, which led to expansions and reductions in its original area by locally modifying the flooding pattern or hydroperiod (i.e., the length, frequency, depth, and timing of floods, according to Smith & Smith (2009).

The physiognomy of the popal is that of a very high (1 to 4 m) and closed grassland that makes it impossible to see the surface of the flooding water, due to the density of stems per strain (six or seven), leaves per offshoot (7 to 15) and the large surface of each leaf blade (from 500 to 1 200 cm²; Figures 1 and 2). Its botanical composition is usually simple and often dominated by *Thalia geniculata* L. (quentó, hojilla, popoay, popal or popote) which come to form extensive even-aged monoculture plantations, but also associations with tanay (*Calathea lutea* (Aubl.) G. Meyer and *C. crotalifera* S. Watson), platanillos (*Heliconia latispatha* Benth. y *H. bihai* (L.) L.) and molinillo

Los herbazales de helófilas en México son denominados popales y reconocidos como un tipo de vegetación primaria (Miranda, 1958; Miranda & Hernández, 1963; Flores et al., 1971). El origen y significado de popal es incierto. Aunque para Santamaría (1992) popal se deriva del nahual *potoni*, heder y *palli* barro negro, la palabra popal está ausente en diversos diccionarios de nahual (Robelo, 1904; Siméon, 1977; Portugal, 2015). En cambio, Miranda (1958) sugiere que podría derivar de popoay (palabra zoque que significa hoja blanca), nombre común de *Calathea lutea*, una de las especies que puede abundar en el popal, pero según Barrera (1991) popal procede de los nombres maya *pop* o *poop* designados al junco y espadaña (otras helófilas), y al petate o estera elaborado con sus tallos.

La superficie original ocupada por el popal (suroeste de Campeche, norte de Chiapas, sur de Veracruz y la planicie tabasqueña), pudo ser al menos de 3 945.1 km² (Flores et al., 1971) hasta antes de las alteraciones hidrológicas de la Planicie Costera del Sureste, generadas por las grandes obras hidroeléctricas y de drenaje, las cuales generaron ampliaciones y reducciones en su área original al modificar localmente el patrón de inundación o hidroperíodo (esto es, la duración, frecuencia, profundidad y época de las inundaciones, según Smith & Smith (2009).

Figure 2. Ripe Popal (*Thalia geniculata* L.) (february 2015). Huimango, Cunduacán, Tabasco.
Figura 2. Popal (*Thalia geniculata* L.) maduro (febrero 2015). Huimango, Cunduacán, Tabasco.



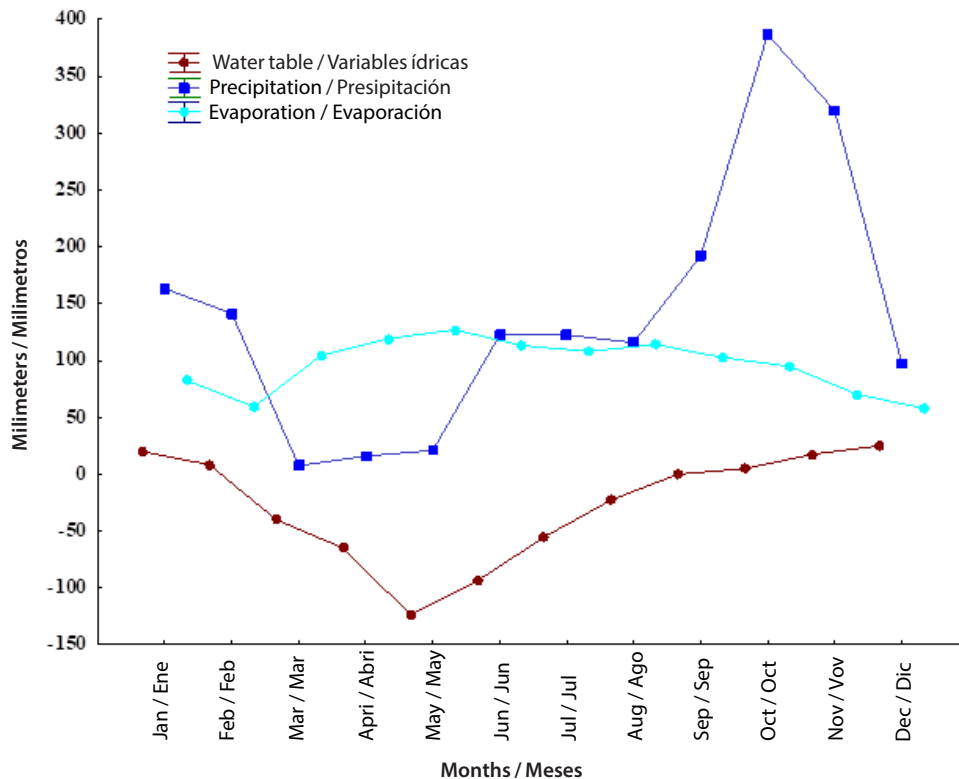
(*Cyperus giganteus* Vahl.). On the margins of the popal, where flooding is less severe, the composition is enriched with grasses such as water grass (*Paspalum vaginatum* Sw.), camalote (*P. fasciculatum* Willd. ex Flüggé), pan caliente (*Eragrostis reptans* (Michaux) Nees), lambedor (*Leersia hexandra* Sw.) and alemán (*Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitchc.) (Beard 1944; Miranda, 1958; Miranda & Hernández, 1963; López, 1980; Ruvalcaba, 1982).

In a 500 ha of the Santa Teresa ejido (communal land), municipality of Cárdenas, Tabasco, used for milpa marceña, a 2.0 m deep phreatic well, which was established to record the water level, every 15 days during the marceño cycle and every month during the rest of the year (Figure 3). Popal soil remained saturated or flooded for 7.8 months, from July to February; in early March the soil still had some water puddles up to 10 cm deep, but from mid-March to August, the water level was uniformly lower than at the soil surface, and in May its lowest level was recorded (-123.5 cm). The highest recorded water level was 30 cm in December, but it should be noted that these were one-time records and that, during the flood period, the water level fluctuates widely, frequently and quickly depending on local floods and storms, and thus the water level ranges from less than 50 cm to 200 cm above the ground.

La fisonomía del popal es de un herbazal muy alto (1 a 4 m) y cerrado que impide ver la superficie del agua de inundación, por la densidad de vástagos por cepa (seis o siete), de hojas por vástago (siete a 15) y gran superficie de cada lámina foliar (de 500 a 1 200 cm²; Figuras 1 y 2). Su composición botánica suele ser simple y con frecuencia dominada por *Thalia geniculata* L. (quentó, hojilla, popoay, popal o popote) que llegan a formar rodales extensos monoespecíficos, pero también asociaciones con tanay (*Calathea lutea* (Aubl.) G. Meyer y C. crotalifera S. Watson), platanillos (*Heliconia latispatha* Benth. y *H. bihai* (L.) L.) y molinillo (*Cyperus giganteus* Vahl.). En los márgenes del popal, con inundación menos profunda, la composición se enriquece con zacates como grama de agua (*Paspalum vaginatum* Sw.), camalote (*P. fasciculatum* Willd. ex Flüggé), pan caliente (*Eragrostis reptans* (Michaux) Nees), lambedor (*Leersia hexandra* Sw.) y alemán (*Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitchc.) (Beard 1944; Miranda, 1958; Miranda & Hernández, 1963; López, 1980; Ruvalcaba, 1982).

En un popal de 500 ha del ejido Santa Teresa, municipio de Cárdenas, Tabasco, utilizado para milpa marceña, se estableció un pozo freático de 2.0 m de profundidad para registrar el nivel del agua, cada 15 días durante el ciclo marceño y cada mes durante el

Figure 3. Example of the annual trend of water variables in the popal of Santa Teresa, Cárdenas, Tabasco.
Figura 3. Ejemplo de la tendencia anual de las variables hídricas en el popal de Sta. Teresa, Cárdenas, Tabasco.



June 1991 to August 1992. The mean precipitation and evaporation data correspond to meteorological station CEW-75 of Colegio de Posgraduados-Tabasco.

Junio 1991 a agosto 1992. Los datos medios de precipitación y evaporación corresponden a la estación meteorológica CEW-75 del Colegio de Posgraduados-Tabasco.

The phenological development of the popal culminates with the end of the flooding period, when its aerial part begins to decay and its root systems (rhizomes and roots) go in dormancy. Thus, the traditional burning of the popal in March (for milpa marceña, fishing and capture of chelonians) or in April and May (only for fauna exploitation), as described by Gil & Sáenz (1872), probably contributes to the persistence of this plant formation, by favoring a vigorous and very competitive regrowth, from a root system without loss of reserves caused by sexual reproduction and by the senescent aerial tissues, and without obstacles on the surface.

In the aforementioned Santa Teresa field, aerial biomass and aboveground necromass were estimated in March 1991. These materials correspond to what grassland accumulated from the last weeding of the milpa marceña (early June), prior the folding ("la dobla del maíz"), until the beginning of the new cycle in March; thus, the biomass accumulated in these 10

months of the year (Figure 3). The soil of the popal remained saturated or flooded during 7.8 months, from February to August; at the beginning of March the soil still presented some puddles up to 10 cm deep, but from the middle of this month until August, the water level was uniformly lower than the surface of the soil, and in May its level was recorded as the lowest (-123.5 cm). The highest level recorded was 30 cm in December, but it must be clarified that these were sporadic records and that, during the period of floods, the water level fluctuates widely and frequently and rapidly in function of the rains and local storms, and as such this level oscillates from less than 50 cm to 200 cm above the soil. The phenological development of the popal culminates with the end of the flooding period, when it begins to decay its aerial part and enters dormancy its subterranean organs (rhizomes and roots). Thus, the traditional burning of the popal in March (for milpa marceña, fishing and capture of chelonians) or in April and May (only for fauna exploitation), as described by Gil & Sáenz (1872), probably contributes to the persistence of this plant formation, by favoring a vigorous and very competitive regrowth, from a root system without loss of reserves caused by sexual reproduction and by the senescent aerial tissues, and without obstacles on the surface.

months can be considered as a cautious estimate of the annual net primary productivity of the popal. The estimated dried biomass of popal was $65.1 \pm 48.3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}\cdot\text{year}^{-1}$, that of associated grasses was $2.4 \pm 0.7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}\cdot\text{year}^{-1}$ and of necromass was $6.2 \pm 5.4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}\cdot\text{year}^{-1}$. These biomass estimates are in agreement with that published by Ruvalcaba (1982), of $126.68 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}$ of fresh biomass, and with the range reported by Jananer & Jolánkai (2008) for emerged heliophyte grasslands, from 30 to $120 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}\cdot\text{year}^{-1}$ of dry matter. Although the aerial biomass of perennifolia high forest can be 200 to $600 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}$ dry matter, its net productivity (i.e., the annual increase in biomass) only varies between 8 and $16 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}\cdot\text{year}^{-1}$ of dry matter (Ghazoul & Sheil, 2010). Thus, tropical swamp grasslands stand out as being among the most productive ecosystems, due to the peculiarities of their habitat and the corresponding adaptations of their flora (Jananer & Jolánkai, 2008; Smith & Smith, 2009).

As for the dynamics of the popal, it seems clear that as long as the flooding or hydroperiod pattern that conditions its origin is present and persists, the popal will remain without significant changes that would question its nature as a formation or type of primary vegetation. On the other hand, the reduced number of species capable of establishing, developing and competing in this special habitat, the specialized root system of its dominant species, and the coincidence of the slash and burn of the popal with the end of its phenological development, explain the absence of secondary succession that could result from this severe exogenous disturbance.

The process of milpa marceña in popales

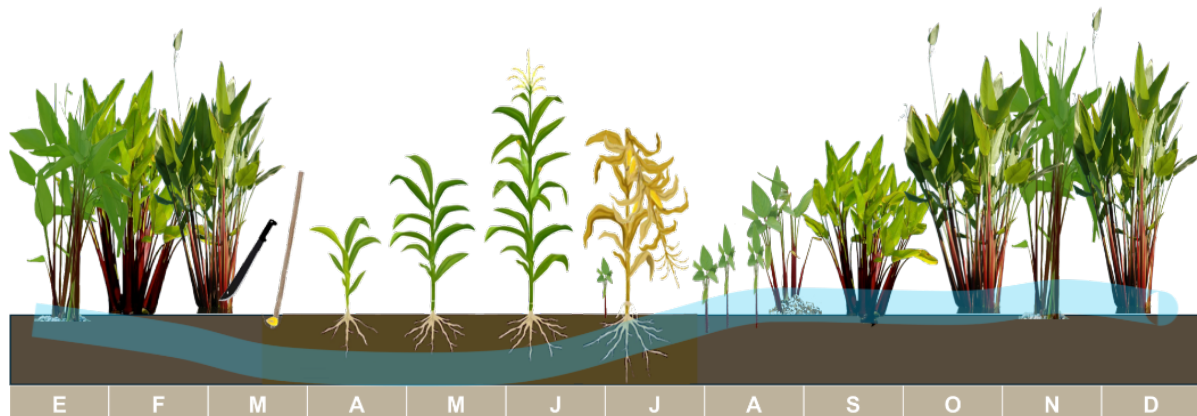
The following description of the milpa in march or marceña is based on and integrates what has been published by Ruvalcaba (1982), Mariaca (1993, ídem 1996), Orozco (1999) and Maimone et al. (2006), except when other sources are credited. Figure 4 schematizes the annual "cielo" of the milpa marceña. Milpas marceñas in popales are still practiced on a family scale, i.e., according to the availability of labor force of each family, therefore, their extension varies 1.0 and 2.0 ha . Only the traditional cultivar called Mején is used for the milpa marceña, with some variations in the color of the grain, but predominantly white.

para el aprovechamiento de fauna), reseñada por Gil & Sáenz (1872), probablemente contribuye a la persistencia de esta formación vegetal, al favorecer un rebrote vigoroso y muy competitivo, a partir de un sistema radical sin pérdida de reservas causada por la reproducción sexual y por los tejidos aéreos senescentes, y sin obstáculos en la superficie.

En el popal de Santa Teresa antes mencionado, en marzo de 1991 se estimó la biomasa aérea y la necromasa sobre la superficie del suelo. Estos materiales corresponderían a lo acumulado por el herbazal desde la última deshierba de la milpa marceña (principios de junio), previa al doblamiento de las cañas del maizal, hasta el inicio del nuevo ciclo en marzo; así, la biomasa acumulada en estos 10 meses puede considerarse como estimador conservador de la productividad primaria neta anual del popal. La biomasa desecada de popal estimada fue de $65.1 \pm 48.3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$, la de los zacates asociados de $2.4 \pm 0.7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ y la de la necromasa de $6.2 \pm 5.4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$. Estas estimaciones de biomasa son concordantes con la publicada por Ruvalcaba (1982), de $126.68 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}$ de biomasa fresca, y con la amplitud reseñada por Jananer & Jolánkai (2008) para herbazales emergidos de helófilas, de 30 a $120 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ de materia aérea seca. Aunque la biomasa aérea de la selva alta perennifolia puede ser de 200 a $600 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}$ de materia seca, su productividad neta (esto es, el incremento anual de su biomasa) solo varía entre 8 y $16 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ de materia seca (Ghazoul & Sheil, 2010). Así, los herbazales de pantano tropicales destacan por ser de los ecosistemas más productivos, debido a las peculiaridades de su hábitat y las adaptaciones correspondientes de su flora (Jananer & Jolánkai, 2008; Smith & Smith, 2009).

En cuanto a la dinámica del popal, parece claro que mientras se presente y persista el patrón de inundación o hidropériodo que condiciona su origen, el popal permanecerá sin cambios significativos que cuestionen su naturaleza como formación o tipo de vegetación primaria. Por otra parte, el número tan reducido de especies capaces de establecerse, desarrollarse y competir en este hábitat tan especial, el sistema radical especializado de sus especies dominantes, y la coincidencia de la roza y quema del popal con el término de su desarrollo fenológico, explican la ausencia de sucesión secundaria que podría resultar de esta fuerte perturbación exógena.

Figure 4. Annual sequence of the milpa in the popal (*Thalia geniculata* L.).
Figura 4. Secuencia anual de la milpa en el popal (*Thalia geniculata* L.).



In the popal zone, the relatively dry period of the year is from february to may; therefore, between the end of february and the beginning of march, the water level in the popal is already slightly above or below ground level. Then the process begins, when the popal is cut with a machete from its base (roza) and other herbaceous are removed, particularly grasses; this job is programmed so that when it is finished, the water level is between 10 and 15 cm below ground level, an ideal condition for planting. Cutting popal grass close to the ground is necessary to delay as much as possible the competitive effect of its regrowth on newly emerged maize. The cut popal grass stems take four to six days to dry, and at the same time, the topsoil is aerated during this time, which facilitates burning and sowing.

Planting is carried out after cutting the popal or, alternatively, one week later, immediately after burning the dry stems. If planting is done before burning, there may be greater predation of germinating seeds by rodents and ants, but the growing seedlings will have nutrients derived from the ashes of the burned stems a week later, that is, before the tips of the maize seedlings emerge from the surface of the planting hole and can be damaged by fire; in addition, this delays the severe competition from popal regrowth for a few more days. However, if planting is done after burning the dry popal stems, the seeds and seedling plants will suffer less damage from predation by rodents and ants, and planting will be more evenly spaced, as it will be done on cleared ground.

El proceso de la milpa marceña en popales

La descripción siguiente de la milpa de marzo o marceña está basada e integra lo publicado por Ruvalcaba (1982), Mariaca (1993, ídem 1996), Orozco (1999) y Maimone et al. (2006), excepto cuando se acreditan otras fuentes. En la Figura 4 se esquematiza el ciclo anual de la milpa marceña. Las milpas marceñas en popales aún se practican en escala familiar, es decir, de acuerdo con la disponibilidad de fuerza de trabajo de cada familia; por ello, su extensión varía entre 1.0 y 2.0 ha. Para la milpa marceña solo se utiliza el cultivar tradicional denominado Mején, con algunas variantes de color del grano, pero con predominio del blanco.

En la zona de popales el período relativamente seco del año es de febrero a mayo; por ello, entre finales de febrero y principios de marzo el nivel del agua en el popal ya está ligeramente encima o debajo del nivel del suelo. Entonces se inicia el proceso, cuando con machete se corta el popal desde su base (roza) y se extirpan otras herbáceas, particularmente los zacates; este trabajo se programa de manera que cuando se termine, el nivel del agua esté entre 10 y 15 cm debajo del nivel del suelo, condición ideal para sembrar. El corte rasante del popal es necesario para retrasar al máximo el efecto competitivo de su rebrote sobre el maíz recién emergido. Los vástagos cortados del popal tardan de cuatro a seis días en secarse y a la vez, el suelo superficial se orea durante este tiempo, con lo cual la quema y la siembra se facilitan.

La siembra se realiza al terminar de cortar el popal o, alternativamente, una semana después, enseguida de quemar los vástagos secos. Si la siembra se ade-

Planting is manually done with a planting stick, which is made from a straight stem or branch, 1.2 to 2.0 m long and 5 to 8 cm in diameter, obtained from species known for their outstanding hardness and density, and whose thinner upper end is sharpened and hardened over a fire. When thrust vertically, the tip of the planting stick penetrates 10 to 15 cm into the soil; then, without removing it, it is pushed forward to clear the bottom of the hole, where the seeds are thrown, which are covered with some soil that falls when the planting stick is removed. The spatial pattern of sowing generally corresponds to an average distance of 1.0 m between holes, and rows are formed with this separation; the average number of five seeds per hole varies from four to seven, depending on the expected climatic conditions and the farmer's estimate of predation, both of seeds by mice and ants and of newly emerged seedlings by birds; no thinning is done, except to transplant to holes with no or few seedlings, where reseeded with almost germinated seed is also common. The final corn density varies between 32,000 and 42,000 plants per hectare. The first written description (almost identical) of this method of sowing and cultivating maize in "lands with trees and reeds" was made by Fernández de Oviedo (1851:264-265) for the present-day Dominican Republic in the mid-16th century. Intercropped with maize, it is common to plant melon (*Cucumis melo* L.) and watermelon (*Citrullus lanatus* (Thumb) Matsum. & Nakai) and occasionally also cucumber (*Cucumis sativus* L.) and squash (*Cucurbita argyrosperma* Hort. Hubert), early crops characterized by requiring dry, sunny days, as they are intolerant to excessive soil humidity (Sauer, 1993) and have a great capacity to cover the ground with their creeping stems and large leaves, thus inhibiting the development of weeds (Rice & Vandermeer, 1990). In small spaces surrounded by cornfields, beans, some vegetables such as tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.), onions (*Allium cepa* L.), chili peppers (*Capsicum annum* L.), and tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) are sometimes planted.

The first weeding with a machete and at ground level, is done between 20 and 30 days after planting, when the offshoots begin to exceed the height of the maize plants. Between 75 and 90 days after planting, a light weeding is done, just to make the subsequent

lanta a la quema puede presentarse mayor depredación de semilla en germinación por roedores y hormigas, pero las plantitas en desarrollo dispondrán de nutrientes derivados de las cenizas de los vástagos quemados una semana después, esto es, antes que las puntas de las plantitas de maíz sobresalgan de la superficie del hoyo de siembra y puedan sufrir daño por el fuego; además, de esta forma la competencia severa del rebrote del popal se retrasa unos días más. Pero si se siembra después de quemar los vástagos secos del popal, la semilla y las plantitas sufrirán menos daños por depredación de roedores y hormigas, y la siembra resulta espacialmente más regular, al realizarse sobre el terreno despejado.

La siembra se realiza manualmente con el espeque o palo sembrador, el cual se prepara de un tallo o rama recta, de 1.2 a 2.0 m de longitud y a 5 a 8 cm de diámetro, obtenido de especies reconocidas por su dureza y densidad sobresalientes, y cuyo extremo superior más delgado se afila y endurece al fuego. Al impulsarlo verticalmente, la punta del espeque se clava de 10 a 15 cm en el suelo; luego, sin extraerlo, se le empuja hacia el frente para despejar el fondo del hoyo, donde se arrojan las semillas, las cuales quedan cubiertas con algo de suelo que les cae al retirar el espeque. El patrón espacial de la siembra en general corresponde a una distancia media de 1.0 m entre hoyos y se trabaja formando hileras con dicha separación; el número medio de cinco semillas por hoyo varía de cuatro a siete, de acuerdo con las condiciones climáticas esperadas y con la depredación estimada por el campesino, tanto de semilla por ratones y hormigas, como de plántulas recién emergidas por aves; no se hacen aclareos, excepto para trasplantar a hoyos sin o con pocas plántulas, donde también se suele sembrar con semilla casi germinada. La densidad final de maíz varía entre 32 000 y 42 000 plantas por hectárea. La primera descripción escrita (casi idéntica) de este método de siembra y cultivo de maíz en "tierras de arboleadas y cañaverales", la hizo Fernández de Oviedo (1851:264-265) para la actual República Dominicana a mediados del siglo XVI. Intercalados con el maíz, es común que se siembren melón (*Cucumis melo* L.) y sandía (*Citrullus lanatus* (Thumb) Matsum. & Nakai) y ocasionalmente también pepino (*Cucumis sativus* L.) y calabaza (*Cucurbita argyrosperma* Hort. Hubert), cultivos preco-

job easier of the folding at the height of the internode below the knot of insertion of cob; this ancestral practice widespread in the warm-humid regions of Mexico, its purpose is to hinder predation by birds of the cob, prevent its rotting due to rain water entering through the apex, and promote their final drying.

Between two and four weeks after the folding, the cobs begin to be harvested, either gradually throughout June and July or in a single operation. By then, the popal is usually flooded and its regrowths are already protruding from the water; for this reason, the later gradual harvest is usually done from canoes. The corn is harvested on the cob, covered only with the inner bracts. To do this, a pointed tool made of bone and attached to the ring finger with a leather ring is used to make a longitudinal cut in the outer bracts to access the cob, which is firmly covered with the inner bracts. The cob is then bent until the stalk breaks and it is separated from the stem.

The data presented in the descriptions collected is inaccurate; thus, estimates of 10 to 11 t·ha⁻¹ appear to refer to whole, fairly moist cobs, and when they refer to grain (2.5 to 4.5 t·ha⁻¹), the moisture content is unknown. Experimentally, in a Marceña cornfield, an estimated yield of 3.3 t·ha⁻¹ of dry grain (100% DM) was obtained with the traditional Mején cultivar, significantly higher than the yield of three improved cultivars (Aguirre et al., 2019). The work required for one hectare of milpa marceña, from clearing the popal to harvesting, is about 35 six-hour days of adult family labor: a) three days to cut the popal, b) three to make the firebreak and burn, c) five days for sowing and reseeded, d) ten days for the first weeding, e) another four days for weeding to clear the field, f) five days for the folding, and g) another five days for harvesting. In contrast, the slash-and-burn cornfields of Yucatan, for example, require about 15 additional days for production (Cortina, 1995; Mariaca et al., 1995). In a recent study (Peraza et al., 2019), 203 plots of milpa marceña were located directly in the field in eight municipalities of Tabasco, mainly in Comalcalco, Nacajuca, and Cunduacan, which would be equivalent to only about 400 ha; however, these authors estimated that 18.4% of Tabasco's land area currently has potential for milpa marceña.

ces caracterizados por requerir de días secos y soleados, por ser intolerantes a los excesos de humedad edáfica (Sauer, 1993), y por su gran capacidad para cubrir el suelo con sus tallos rastreros y grandes hojas, e inhibir así el desarrollo de arvenses (Rice & Vandermeer, 1990). En espacios reducidos y rodeados por la milpa, en ocasiones se siembra frijol, algunas hortalizas como jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), cebolla (*Allium cepa* L.) y chiles (*Capsicum annum* L.), y tabaco (*Nicotiana tabacum* L.)

La primera deshierba, con machete y a ras del suelo, se hace entre 20 y 30 días después de la siembra, cuando los rebrotes del popal comienzan a superar la altura de las plantas de maíz. Entre 75 y 90 días después de la siembra se hace una deshierba ligera, solo para facilitar el trabajo subsecuente del doblamiento de los tallos del maíz a la altura del entrenudo inferior al nudo de inserción de la mazorca; esta práctica ancestral, generalizada en las regiones cálidas – húmedas de México, tiene como propósito dificultar la depredación por aves de la mazorca, impedir sus pudriciones por la entrada de agua de lluvia por el ápice y favorecer su secado final.

Entre dos y cuatro semanas después del doblamiento de las cañas, las mazorcas comienzan a cosecharse, en forma gradual durante junio y julio, o en una sola operación. Para entonces el popal suele estar inundado y sus rebrotes ya sobresalen del agua; por ello, la cosecha gradual más tardía suele hacerse desde canoas. El maíz se cosecha en mazorca, cubierta solo con las brácteas interiores; para ello, con una herramienta puntiaguda hecha de hueso y sujeta con un aro de cuero al dedo cordial, se hace un corte longitudinal a las brácteas exteriores para acceder a la mazorca cubierta firmemente con las brácteas interiores, para luego doblarla hasta romperle el pedúnculo y separarla del tallo.

El rendimiento presentado en las descripciones recopiladas adolece de imprecisiones; así, las estimaciones de 10 a 11 t·ha⁻¹ parecen tratarse de mazorcas enteras y bastante húmedas y cuando se refieren a grano (de 2.5 a 4.5 t·ha⁻¹) se desconoce su porcentaje de humedad. De manera experimental, en una milpa marceña se obtuvo un rendimiento estimado de 3.3 t·ha⁻¹ de grano seco (100% MS) con el cultivar tradicional Mején, por encima significativamente del rendimiento de tres cultivares mejorados (Aguirre et

The Mején maize of the milpa marceña

The fundamental component of the milpa marceña is the traditional cultivar or maize variant called Mején. According to Santamaría (1992), this name comes from the mayan mehén, which means small son or creature, and that "In Tabasco and the southeastern region in general, a certain kind of maize of small, soft and very fine grain". In addition to tiny, Bastarrachea et al. (1992) include the meaning of Mején as son of man or begotten by a man. When referring to mején, Gil & Sáenz (1884) state that "This is a small but superior maize, and although it is unique in its class, it shares the colors of the others"; the colors referred to by this author for the maize varieties grown in other environments in Tabasco are white, red, purple, black, "atabacado" (brown), and yellow. In an evaluation of the industrial quality of maize grain from nine regional varieties (Jiménez et al., 2015), Mején grain stood out for its greater hardness and higher raw protein content.

Mején is characterized by large plants, from 2.2 m (Aguirre et al., 2019), 2.8 (Ruvalcaba, 1982) up to 3.1 m (De la Cruz et al., 2006), with about 20 leaves (Aguirre et al., 2019) and insertion of the first cob at an average height from the ground between 1.42 m (Aguirre et al., 2019) and 1.62 m (De la Cruz et al., 2006), with no risk of lodging due to water support, but with cob height enough to rid the maximum level of the first floods of the rainy season. In an experimental milpa marceña (Aguirre et al., 2019), mején produced 3.3 t of dry grain, equivalent to 3.8 t with 14 % humidity; on the other hand, in another experiment, with the technical recommendations for commercial production, carried out outside the environment and the marceño period, the mején produced 3.0 t of grain, when the twelve remaining variants, between commercial and under selection, produced from 2.6 to 4.4 t (De la Cruz et al., 2006). Thus, the yield of mején marceño is relatively high for tropical conditions in Mexico (Puente et al., 1963; Lane et al., 1997).

With the morphological characteristics (great height and abundant leaves) and the high yield associated with them (Ustimenko-Bakumovski, 1982), mején is similar to the Mexican maize varieties of medium to low altitudes, with the longest growing (about 200 days), such as Jala, Comiteco, Tehua and Olotillo, catalogued as prehistoric mestizo varieties by Wellhau-

al., 2019). El trabajo requerido para una hectárea de milpa marceña, desde la roza del popal hasta la cosecha, es de unas 35 jornadas de seis horas, de personas adultas de la familia: a) tres jornadas para cortar el popal, b) tres para hacer el corta fuego y la quema, c) cinco jornadas para la siembra y resiembra, d) diez jornadas para la deshierba primera, e) otras cuatro requiere la deshierba para despejar, f) cinco jornadas se toma el doblamiento de cañas, y g) otras cinco son para la cosecha. En cambio, las milpas de roza-tumba-quema de Yucatán, por ejemplo, requieren de unas 15 jornadas adicionales para su producción (Cortina, 1995; Mariaca et al., 1995).

En un trabajo reciente (Peraza et al., 2019) se localizaron directamente en el campo 203 parcelas con milpa marceña en ocho municipios de Tabasco, principalmente de Comalcalco, Nacajuca y Cunduacán, lo cual sería equivalente a solo unas 400 ha; pero estos autores estimaron que el 18.4 % de la superficie de Tabasco actualmente presenta potencial para milpa marceña.

El maíz Mején de la milpa marceña

El componente fundamental de la milpa marceña es el cultivar tradicional o variante de maíz denominado Mején. Según el tabasqueño Santamaría (1992), este nombre deriva del maya mehén, que significa hijo pequeño o criatura, y que "En Tabasco y región del sureste en general, cierta clase de maíz de grano pequeño, suave y muy fino". Además de pequeño y chico, Bastarrachea et al. (1992) incluyen para Mején, la acepción: hijo de hombre o engendrado por algún hombre. Al referirse al mején Gil & Sáenz (1884) afirma que "Este es un maíz chico pero superior, y aunque en su clase es uno, participa de los colores de los demás"; los colores referidos por este autor para las variantes de maíz cultivadas en otros ambientes de Tabasco son el blanco, rojo, morado, negro, "atabacado" (castaño) y amarillo. En una evaluación de la calidad industrial del grano de maíz de nueve variantes regionales (Jiménez et al., 2015), el grano de Mején destacó por su mayor dureza y mayor contenido de proteína cruda.

El Mején se caracteriza por sus plantas de gran tamaño, desde 2.2 m (Aguirre et al., 2019), 2.8 (Ruvalcaba, 1982) y hasta 3.1 m (De la Cruz et al., 2006), con alrededor de 20 hojas (Aguirre et al., 2019) y la inserción

sen et al. (1951), which, because of their cycle longer than 150 days, are classified as ultra delays (Durán, 1996). On the other hand, 120 days after sowing, mején reached physiological ripeness (Aguirre et al., 2019), that is, it presented hard grains, with less than 20-25 % humidity and completely dry leaves, so that its growing season would only be classified as "intermediate" (Durán, 1996). This way, the mején is truly unique, as it is the main element of an extraordinary agricultural system, it breaks the general pattern for maize, in other terms, the earlier the plant ripens, the shorter it is and the fewer leaves it (Purseglove, 1972; Ustimenko-Bakumovski, 1982), and that the longer the growing cycle, the higher the yield (Durán, 1996). The precise adjustment of the mején to four months in a production system as unique as the milpa marceña cannot be mere coincidence; rather, it can be recognized as the logical result of a long process of humanization in the wetland environment.

Among the peculiarities of the mején is the shape of the corn. In this regard, Díaz (1964) points out that in Mexico the variants of maize with cylindrical cobs are native to warm regions located between variants 0 and 1000 msnm; (meters above the sea level) those with semi-cylindrical cobs are typical of regions between 1,200 and 1,900 msnm; and the variants with conical cobs correspond to high valleys, between 1,900 and 2,700 msnm. So, due to the morphological characteristics of the plant and the corn, and its geographical and ecological distribution, Mején appears to be clearly related to the Olotillo and Dizit Bacal varieties (Table 1), as documented below.

In addition to the comparative attributes presented in Table 1, of 14 cobs from Cunduacan we obtained the average weight of cob (21.8 g), the average weight of corn with bracts, joloche or totomoxtle (212.9 g), the average number of bracts per cob (7.8), the average weight of the bracts per cob (25.0 g) and the average weight of grain per cob (159.1 g); Figure 5 shows the variation in the appearance of Mején cobs found in this collection.

Olotillo Variety. This maize is characterized by its long, thin and cylindrical cobs and by its thin and flexible cob; its known distribution in the forties of the last century was concentrated in Chiapas, specifically in the upper river basin of Grijalva River, in the Central Depression and in the high parts (100 a 500

de la primera mazorca a una altura media del suelo entre 1.42 m (Aguirre et al., 2019) y 1.62 m (De la Cruz et al., 2006), sin riesgo de acame por el soporte del agua, pero con altura de la mazorca suficiente para librar el nivel máximo de las primeras inundaciones de la temporada lluviosa. En una milpa marceña experimental (Aguirre et al., 2019), el mején produjo 3.3 t de grano seco, equivalentes a 3.8 t con 14 % de humedad; en cambio, en otro experimento, con las recomendaciones técnicas para producción comercial, realizado fuera del ambiente y del periodo marceño, el mején produjo 3.0 t de grano, cuando las doce variantes restantes, entre comerciales y bajo selección, produjeron de 2.6 a 4.4 t (De la Cruz et al., 2006). Así, el rendimiento del mején marceño es relativamente elevado para lo usual en las condiciones tropicales de México (Puente et al., 1963; Lane et al., 1997).

Con estas características morfológicas (gran altura y abundantes hojas) y de alto rendimiento asociado a ellas (Ustimenko-Bakumovski, 1982), el mején resulta semejante a las razas mexicanas de maíz de altitudes medias a bajas, con el ciclo de cultivo más prolongado (unos 200 días), como Jala, Comiteco, Tehua y Olotillo, catalogadas como razas mestizas prehistóricas por Wellhausen et al. (1951), las cuales, por su ciclo mayor de 150 días son calificadas como ultratardías (Durán, 1996). En cambio, en 120 días después de sembrado, el mején alcanzó la madurez fisiológica (Aguirre et al., 2019), esto es, presentó los granos duros, con menos que 20-25 % de humedad y hojas completamente secas, de manera que por su ciclo de cultivo sería calificado solo como "intermedio" (Durán, 1996). Así, el mején es toda una singularidad, pues constituye el elemento principal de un sistema agrícola extraordinario, se sale del patrón general para maíz, de que a mayor precocidad resulta menor estatura y menos hojas (Purseglove, 1972; Ustimenko-Bakumovski, 1982), y que a mayor duración del ciclo de cultivo se genera mayor rendimiento (Durán, 1996). El ajuste preciso del mején a los cuatro meses de un sistema de producción tan singular como lo es la milpa marceña es imposible que sea casual, más bien, se puede reconocer como el resultado lógico de un proceso dilatado de humanización en el ambiente del humedal.

Entre las peculiaridades del mején destaca la forma de la mazorca. Al respecto, Díaz (1964) señala que en

Table 1. Averages of some attributes of Mején maize and its probable ancestors.
Cuadro 1. Promedios de algunos atributos del maíz mején y de sus ancestros probables.

Attribute /Atributo	Olotillo ¹	Dzit Bacal ²	Mején ³
1. Altitudinal amplitude (msnm) / 1. Amplitud altitudinal (msnm)	10-1870	0.782	1-10
2. Growing season (without irrigation) / 2. Período de cultivo (sin riego)	Jun-Oct, Nov-Mar ⁴	Jun-Oct	Mar-Jun
3. Days to physiological ripeness / 3. Días a la madurez fisiológica	150	140	116
4. Plant height (m) / 4. Altura de la planta (m)	3.00	2.90	2.70
5. Number of leaves / 5. Número de hojas	20	18	19
6. Height of the lower corn (m) / 6. Altura de la mazorca inferior (m)	150	1.55	1.50
7. Corn length (cm) / 7. Longitud de la mazorca (cm)	17.61	15.33	16.87
8. Central diameter of corn (cm) / 8. Diámetro central de la mazorca (cm)	3.96	3.70	4.45
9. Number of corn rows / 9. Número de hileras de la mazorca	10.06	11.04	11.55
10. Grains per row / 10. Granos por hilera	44.0	30.72	39.60
11. Central diameter of the cob (cm) / 11. Diámetro central del olote (cm)	2.04	2.10	2.41
12. Weight of 100 grains (g) / 12. Peso de 100 granos (g)	29.66	24.43	34.90
13. Grain length (mm) / 13. Longitud del grano (mm)	11.63	10.30	10.53
14. Grain width (mm) / 14. Anchura del grano (mm)	9.82	9.10	8.93
15. Grain thickness (mm) / 15. Grosor del grano (mm)	3.80	3.55	4.65

¹ Wellhausen et al. (1951); Ruiz et al. (2008); Sierra et al. (2014); Rendón et al. (2015); Hernández et al. (2020). /

¹ Wellhausen et al. (1951); Ruiz et al. (2008); Sierra et al. (2014); Rendón et al. (2015); Hernández et al. (2020).

² Ortega (1973); Burgos et al. (2004); Camacho y Chávez (2004); Ruiz et al. (2008); González et al. (2017); Morales y Padilla (2017); dos Santos et al. (2019); Villalobos et al. (2019). /

² Ortega (1973); Burgos et al. (2004); Camacho y Chávez (2004); Ruiz et al. (2008); González et al. (2017); Morales y Padilla (2017); dos Santos et al. (2019); Villalobos et al. (2019).

³ De la Cruz et al. (2006); Jiménez et al. (2012); Morales et al. (2017); Aguirre et al. (2019); Unpublished data from 14 cobs from ejido Gregorio Méndez, Cunduacán, Tabasco (2022). /

³ De la Cruz et al. (2006); Jiménez et al. (2012); Morales et al. (2017); Aguirre et al. (2019); Datos inéditos de 14 mazorcas procedentes del ejido Gregorio Méndez, Cunduacán, Tabasco (2022).

⁴ Only on the Gulf of Mexico side (Tornamilpa). / ⁴Solo en la vertiente del Golfo de México (Tornamilpa).

⁴ Solo en la vertiente del Golfo de México (Tornamilpa).

msnm) from the coastal plains extending to Guerrero (Wellhausem et al., 1951). Later (Ortega, 1973), it was documented in Chiapas as the variety with more variants of colors and textures of the grain and sizes of the corn (even with branched cobs), and the most adaptable to poor soils, up to 1 600 m of altitude, and with rainfall greater than 800 mm; in addition, its ease of manual shelling and the qualities of its grain also favored its greater commercial appreciation. Based on the collections from Chiapas deposited in the INIFAP germplasm bank until 2003, Perales & Hernández (2005) found that the samples from Chiapas were of the highest commercial value and that samples corresponding to Olotillo (87) came from 37 localities in 24 municipalities, which were only surpassed by the collections from Tuxpeño (217) and Comiteco (149), among their 87 collections, white (64) and yellow (26) grains predominated, but there were also purple (2), black (2) and red (5). Recently (Hernández et al., 2020), 15 variants of Olotillo, distinguished by color and tone of the grain, were do-

México las variantes de maíz con mazorcas cilíndricas son originarias de regiones cálidas situadas entre 0 y 1000 msnm; que las de mazorcas semicilíndricas son propias de regiones entre 1200 y 1900 msnm; y que las variantes con mazorcas cónicas corresponden a valles altos, entre 1900 y 2700 msnm. Así, por las características morfológicas de la planta y de la mazorca, y por su distribución geográfica y ecológica, el Mején parece claramente relacionado con las razas Olotillo y Dizit Bacal (Cuadro 1), como se documenta enseguida.

Además de los atributos comparativos presentados en el Cuadro 1, de 14 mazorcas procedentes de Cunduacán se obtuvo el peso medio del olote (21.8 g), el peso medio de la mazorca con brácteas, joloche o totomoxtle (212.9 g), el número medio de brácteas por mazorca (7.8), el peso medio de las brácteas por mazorca (25.0 g) y el peso medio de grano por mazorca (159.1 g); en la **Figura 5** se muestra la variación en el aspecto de las mazorcas de Mején, encontrada en dicha recolecta.

Figure 5. Aspects of variation found in a sample of 14 corns of Mejen maize from Cunduacan, Tabasco (2022).
Figura 5. Aspectos de la variación encontrada en una muestra de 14 mazorcas de maíz Mején procedentes de Cunduacán, Tabasco (2022).



cumented in only five of the six municipalities of Frailesca region of Chiapas. There are documented collections of Olotillo maize in the germplasm banks from 16 states, an amount only surpassed by Tuxpeño variety, represented in 25 states of the republic; among the states with the largest collections of Olotillo are Chiapas (34), Puebla (40), Guerrero (73) and Veracruz (162) (Ortega et al., 2013a), and the absence of samples from Oaxaca stands out, in spite of the statement by Wellhausen et al. (1951). Indeed, in a study in five municipalities of the Sierra Sur of Oaxaca (Rendón et al., 2015), Olotillo stood out, among the 10 varieties recorded, for its greater number of variants (14) and for having an altitude range of 1 921 m of cultivation surpassed only by Tuxpeño (1 950 m) and Tepecintle (1 941 m).

Based on the field data, more than 4,000 collections deposited in maize germplasm banks, Ruiz et al. (2008) found an altitudinal range of 10 to 1 870 msnm (average of 731 m), the third highest, after Ta-

Raza Olotillo. Este maíz se caracteriza por sus mazorcas largas, delgadas y cilíndricas y por su olote delgado y flexible; su distribución conocida en los años cuarenta del siglo pasado estaba concentrada en Chiapas, específicamente en la cuenca superior del río Grijalva, en la Depresión Central y en las partes altas (100 a 500 msnm) de las planicies costeras extendidas hasta Guerrero (Wellhausen et al., 1951). Posteriormente (Ortega, 1973), se le documentó en Chiapas como la raza con más variantes de colores y texturas del grano y de tamaños de la mazorca (incluso con mazorcas ramificadas), y la más adaptable a suelos pobres, hasta 1 600 m de altitud, y con precipitaciones mayores que 800 mm; además, que su facilidad para desgranarse manualmente y las cualidades de su grano también favorecían su mayor aprecio comercial. Con base en las recolectas de Chiapas depositadas en el banco de germoplasma del INIFAP hasta 2003, Perales & Hernández (2005) encontraron que las muestras correspondientes a

bloncillo and Tuxpeño; at the same time, the average temperature during the growing season is 24.7 °C (range from 18.7 a 28.6 °C) and average rainfall of 1 267 mm (range from 649 to 2 899 mm), making Olotillo the second most adaptable variety, surpassed only by Tuxpeño. With the environmental data collected, Ruiz et al. (2008) made a multivariable variety classification that was concordant and complementary with the variety classifications based on morphology, geographic distribution and genetic data. (Sánchez et al., 2000).

Dzit Bacal Variety. In general, this maize variant is currently considered a race, but it was initially proposed as a sub race of Olotillo by Wellhausen et al. (1951), who, when comparing it with the Olotillo of Chiapas, pointed out that it has smaller and more crystalline grains, and more flexible cob. It is pertinent to note that these authors recognized the problem of establishing the original area of both varieties, when they indicated that "Some maize of eight rows of Olotillo variety found in Guerrero, are apparently similar to the Dzit Bacal of Yucatan". In this respect, it is convenient to consider the greater cultural antiquity of that region of the Pacific (particularly Soconusco) than that of Yucatan peninsula (Blake et al., 1992; Clark, 1994).

The close relationship between Olotillo and Dzit Bacal has been confirmed with multivariate classifications based on morphological (Ortega et al., 2013a; Morales & Padilla, 2017) and environmental data from the respective growing areas (Ruiz et al., 2013). Between 2000 and 2010 22 samples of Dzit Bacal (which were deposited in the germplasm bank of INIFAP) were collected from the states of Campeche (nine), Chiapas (six), Yucatan (four) and Quintana Roo (three), but there were already probable collections of this variety from the states of Guerrero, Veracruz, San Luis Potosí and Tamaulipas until 2006 (Ortega et al., 2013b). In an experiment conducted by Villalobos et al. (2009), in Pocyaxum, Campeche (30 msnm), established in July and repeated two years, 13 variants were evaluated, among them Dzit Bacal, which produced the second highest grain yield (4 417 kg·ha⁻¹, with 14 % humidity), presented only four aborted grains per corn and 406 grains per corn with a weight of 93 g. In contrast, in another experiment (Dos Santos et al., 2019) conducted in Tizimín, Yucatan (17 msnm),

Olotillo (87) procedían de 37 localidades de 24 municipios, que solo fueron superadas por las recolectas de Tuxpeño (217) y las de Comiteco (149), y que entre sus 87 recolectas predominaron las de grano blanco (64) y amarillo (26), pero hubo también de color morado (2), negro (2) y rojo (5). Recientemente (Hernández et al., 2020) se documentaron 15 variantes de Olotillo, distinguidas por el color y tono del grano, en solo cinco de los seis municipios de la región Frailesca de Chiapas.

Del maíz Olotillo existen en los bancos de germoplasma recolectas documentadas procedentes de 16 estados, cantidad solo superada por la raza Tuxpeño, representada en 25 estados de la república; entre los estados con mayores recolectas de Olotillo destacan Chiapas (34), Puebla (40), Guerrero (73) y Veracruz (162) (Ortega et al., 2013a), y sobresale la ausencia de muestras de Oaxaca, a pesar del señalamiento de Wellhausen et al. (1951). En efecto, en un estudio en cinco municipios de la Sierra Sur de Oaxaca (Rendón et al., 2015), Olotillo destacó, entre las 10 razas registradas, por su mayor número de variantes (14) y por presentar 1 921 m de amplitud altitudinal de cultivo, solo superado por Tuxpeño (1 950 m) y por Tepecintle (1 941 m).

Con base en los datos de campo, más de 4 000 recolectas depositadas en los bancos de germoplasma de maíz, Ruiz et al. (2008) encontraron registrados para Olotillo una amplitud altitudinal de 10 a 1 870 msnm (promedio de 731 m), la tercera mayor, después que las correspondientes a Tabloncillo y Tuxpeño; a la vez, que la temperatura media durante su período de cultivo es de 24.7 °C (amplitud de 18.7 a 28.6 °C) y precipitación media de 1 267 mm (amplitud de 649 a 2 899 mm), con lo cual Olotillo resultó ser la segunda raza más adaptable, superada solo por Tuxpeño. Con los datos ambientales recopilados, Ruiz et al. (2008) realizaron una clasificación racial multivariable que resultó concordante y complementaria con las clasificaciones raciales basadas en datos de morfología, distribución geográfica y genética (Sánchez et al., 2000).

Raza Dzit Bacal. En general, esta variante de maíz es considerada en la actualidad como una raza, pero inicialmente fue propuesta como subraza de Olotillo por Wellhausen et al. (1951), quienes al compararlo con el Olotillo de Chiapas señalaron que tiene granos más pequeños y cristalinos, y el olote más flexible.

established with irrigation and fertilization in february and harvested in june, two different samples of Dzit Bacal plus 10 other traditional variants were included, which outperformed as they only produced 2.79 and 3.42 t·ha⁻¹, but stood out by producing on average 1.3 and 2.0 corns per plant respectively. Thus, the growing season seems to be critical for Dzit Bacal, as well as for Mején.

Regarding the name of this variety, it seems that Wellhausen et al. (1951) adopted the expression used in spanish closest to the mayan name. In this regard, Arias et al. (2007) applied themselves to establish the mayan names of the maize traditionally cultivated in Yucatan, and found that the one corresponding to Dzit Bacal is "ts iit bakal", which could be translated as "olote para limpiar el ano" (cob to clean the anus). In fact, Mariaca (1993, ídem 1996) recorded the preference of Mején cob for this purpose, since it is thin, flexible and with silky glumes.

Conclusions

The popal or popalería, one of the primary ecosystems of the great wetlands of the Gulf of Mexico and possibly the most productive of them, required for its permanent agricultural use the development of the milpa marceña, a production system adjusted to its natural cyclical dynamics.

The main component of this production system is Mején maize, a traditional cultivar probably derived from Dzit Bacal variety, with a growing season cycle of only four months, but with a grain yield similar to that of late tropical maize, possibly due to its great capacity to take advantage of the favorable conditions of humidity and fertility of the popal.

Acknowledgments

Authors thank three anonymous reviewers for their valuable comments and for reviewing the manuscript. We would like to thank Rogelio Lara González for his support in designing figures 3 and 4.

End of English version

References / Referencias

Aguirre R., J. R.; Zavala C. J.; Ortiz C. G.; Andrade T. A.; Salgado G. S.; Ortiz C., A. I. (2019). Wet agriculture in the

Es pertinente notar que estos autores reconocieron el problema de establecer el área original de ambas razas, al indicar que "Algunos maíces de ocho hieles del tipo Olotillo que se encuentran en Guerrero, aparentemente son similares a la subraza Dzit Bacal de Yucatán". Al respecto, es conveniente considerar la mayor antigüedad cultural de esa región del Pacífico (particularmente del Socomusco) que la de la península de Yucatán (Blake et al., 1992; Clark, 1994).

La relación estrecha entre Olotillo y Dzit Bacal se ha confirmado con las clasificaciones multivariantes basadas en datos morfológicos (Ortega et al., 2013a; Morales & Padilla, 2017) y en datos ambientales de las áreas de cultivo respectivas (Ruiz et al., 2013). Entre 2000 y 2010 se recolectaron 22 muestras de Dzit Bacal (las cuales se depositaron en el banco de germoplasma del INIFAP), procedentes de los estados de Campeche (nueve), Chiapas (seis), Yucatán (cuatro) y Quintana Roo (tres), pero en dicho banco ya existían hasta 2006, recolectas probables de esta raza procedentes de los estados de Guerrero, Veracruz, San Luis Potosí y Tamaulipas (Ortega et al., 2013b).

En un experimento realizado por Villalobos et al. (2009), en Pocyaxum, Campeche (30 msnm), establecido en julio y repetido dos años, se evaluaron 13 variantes, entre ellas el Dzit Bacal, el cual produjo el segundo mayor rendimiento de grano (4 417 kg·ha⁻¹, con 14 % de humedad), presentó solo cuatro granos abortados por mazorca y 406 granos por mazorca con peso de 93 g. En cambio, en otro experimento (Dos Santos et al., 2019) realizado en Tizimín, Yucatán (17 msnm), establecido con riego y fertilización en febrero y cosechado en junio, se incluyeron dos muestras diferentes de Dzit Bacal más otras 10 variantes tradicionales, las cuales superaron en rendimiento pues solo produjeron 2.79 y 3.42 t·ha⁻¹, pero se destacaron al producir en promedio 1.3 y 2.0 mazorcas por planta, respectivamente. Así, el periodo de cultivo parece ser crítico para el Dzit Bacal, al igual que para el Mején.

En relación con el nombre de esta raza, parece que Wellhausen et al. (1951) adoptaron la expresión usada en español más próxima al nombre en maya. Al respecto, Arias et al. (2007) se aplicaron para establecer los nombres en maya de los maíces cultivados tradicionalmente en Yucatán, y encontraron que el correspondiente a Dzit Bacal es "ts iit bakal", el cual

- lowlands: maize marceña. *Agrosystems, Geosciences and Environment*. 2(1):1-16.
- Arias, L. M.; Latournerie, L.; Montiel, S.; Sauri, E. (2007). Cambios recientes en la diversidad de maíces criollos de Yucatán, México. *Universidad y Ciencia*. 23(1): 69-74.
- Bastarrachea, J. R.; Yah P. E.; Briceño Ch, F. (1992). Diccionario básico español/ maya/ español. Maldonado. Mérida, Yucatán. México. 134 p.
- Barrera V., A. (1991). Diccionario maya. 2ª Ed. Porrúa. México. 1344 p.
- Beard, J. S. (1944). Climax vegetation in tropical America. *Ecology*. 25 (2): 127-158.
- Beard, J. S. (1955). Classification of tropical American vegetation. *Ecology*. 36(1): 89-100.
- Blake, M.; Chisholm B. S.; Clark J. E.; Voorhies B.; Love M., W. (1992). Prehistoric subsistence in the Soconusco region. *Current Anthropology*. 33(1):83-94.
- Boul, S. W.; Southard, R. J.; Graham R. C.; McDaniel P. A. (2003). Soil genesis and classification. 5th ed. Blackwell. Ames, Iowa. USA. 494 p.
- Burgos M., L. A.; Chávez S., J. L.; Ortiz C., J. (2004). Variabilidad morfológica de maíces criollos de la península de Yucatán, México. En: J. L. Chávez S.; J. Tuxill; D. I. Jarvis (Eds.). Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. IPGRI. Cali, Colombia. pp. 58-66.
- Camacho V., T. C.; Chávez S., J. L. (2004). Diversidad morfológica del maíz criollo de la región centro de Yucatán, México. En: Chávez S., J. L.; Tuxill J.; Jarvis, D. I. (Eds.). Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. IPGRI. Cali, Colombia. pp. 47-57.
- Clark, J. E. (1994). Antecedentes de la cultura olmeca. En: J. E. Clark (Coord.). Los olmecas en Mesoamérica. El Equilibrista. México. pp. 31-41.
- Cortina V., H. S. (1995). La milpa tradicional en Becanchén. En: E. Hernández X.; E. Bello B.; S. Levy T. (Comps.). La milpa en Yucatán. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. México 1:201-223.
- De la Cruz L., E.; Osorio O., R.; Mendoza P., J. R.; Estrada B., J. D.; Brito M., N. P.; Córdova O., H. (2006). Relación entre rendimiento y sus componentes en genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. En: M. Hernández M. (Comp.). Semana de divulgación y video científico UAJT 2006. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. México. pp. 265-270.
- Díaz del P., A. (1964). El Maíz: cultivo-fertilización, cosecha. 2ª ed. B. Trucco. México. 393 p.
- podría traducirse como "olote para limpiar el ano". En efecto, Mariaca (1993, ídem 1996) registró la preferencia del olote de Mején para este propósito, por ser delgado, flexible y con glumas sedosas.

Conclusiones

El popal o popalería, uno de los ecosistemas primarios del gran humedal del Golfo de México y posiblemente el más productivo de ellos, requirió para su aprovechamiento agrícola permanente del desarrollo de la milpa marceña, un sistema de producción ajustado a su dinámica cíclica natural.

El componente principal de dicho sistema de producción es el maíz Mején, cultivar tradicional derivado probablemente de la raza Dzit Bacal, con ciclo de cultivo de solo cuatro meses, pero con rendimiento de grano similar al de los maíces tropicales tardíos, posiblemente por su gran capacidad para aprovechar las condiciones favorables de humedad y fertilidad del popal.

Agradecimientos

Los autores agradecen a tres revisores anónimos por sus valiosos comentarios y la revisión del manuscrito. Agradecemos a Rogelio Lara González por el apoyo en el diseño de las figuras 3 y 4.

Fin de la versión en español

- Dos Santos, L. F. C.; Garruña R.; Andueza M., R. H.; Latournerie M., L.; Mijangos C., J. O.; Pineda D., A. (2019). Comportamiento agronómico y fisiológico de maíces nativos del sureste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(6): 1247-1258.
- Duchauffour, P. (1975). Manual de edafología. Toray- Masson. Barcelona. España. 476 p.
- Durán A., J. M. (1996). Una síntesis agrobiológica y comercial del maíz. En: J. López L. (Ed.). El maíz, de grano celeste a híbrido industrial. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. pp. 111-166.
- Fernández de Oviedo y V., G. (1851). Historia general y natural de las Indias, islas y tierra firme del mar océano. Real Academia de la Historia. Madrid. España. 632 p.
- Flores M., G.; Jiménez L., J.; Madrigal S., X.; Moncayo R., F.; Takaki F., F. (1971). Mapa y descripción de los tipos de vegetación

- de la República mexicana. Dirección de Agrología, Secretaría de Recursos Hidráulicos. México. 59 p.
- Font Quer, P. (1953). Diccionario de botánica. Labor. Barcelona. España. 1244 p.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª ed. UNAM. México. 90 p.
- García de M., E.; Falcón de G., Z. (1993). Nuevo atlas Porrúa de la República mexicana. 6ª Ed. Porrúa. México. 219 p.
- Ghazoul, J.; Sheil, D. (2010). Tropical rain forest ecology, diversity and conservation. Oxford University Press. Oxford. UK. 516 p.
- Gil y Sáenz, M. (1872). Compendio histórico, geográfico y estadístico del estado de Tabasco. Editado por el autor. San Juan Bautista, Tabasco. México. 252 p.
- Gil y Sáenz, M. (1884). El caporal o indicaciones, para la agricultura, ganadería y pastos artificiales de Tabasco. Gobierno del Estado de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. México. 156 p.
- González V., N. A.; Cetzal Ix, W. R.; Martínez P., J. F.; Soria F., M. J.; Burgos C., M. A.; Arcocha G., E. (2017). Razas y variedades nativas de maíz (*Zea mays* L.) en la península de Yucatán, México. Instituto Tecnológico de Chiná, Campeche. México. 29 p.
- Gutiérrez E., M. (2008). Geomorfología. Pearson. Madrid. España. 898 p.
- Hardy, F. (1970). Suelos tropicales, pedología tropical con énfasis en América. Herrero. México. 334 p.
- Hernández R., M. A.; Guevara H., F.; Basterrechea B., J. L.; Coutiño E., B.; La O. A., M. A.; Pinto R., R. (2020). Diversidad y conservación de maíces locales de la Frailesca, Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 43(4):471-479.
- Jananer, G. A.; Jolánkai G. (2008). Lotic vegetation processes. In: D. Harper; M. Zalewski; N. Pacini (Eds.). *Ecohydrology: processes, models and case studies*. CABI. Wallingford, Oxfordshire. UK. pp. 46-61.
- Jiménez J., J. A.; Arámbula V. G.; de la Cruz L., E.; Aparicio T., M. A. (2015). Calidad nixtamalera y tortillera de maíces del trópico húmedo de México. *Phyton*. 84:1-7.
- Jiménez J., J. A.; Arámbula V. G.; de la Cruz L., E.; Aparicio M., A. T. (2012). Características del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano. *Universidad y Ciencia*. 28(2):145-152.
- Lane R., M.; Aguirre R., J. R.; González, J. (1997). Producción campesina del maíz en San Lorenzo Tenochtitlán. En: A. Cyphers (Coord.). *Población, subsistencia y medio ambiente en San Lorenzo Tenochtitlán*. Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM. México. pp.55-73.
- López M., R. (1980). Tipos de vegetación y su distribución en el estado de Tabasco y norte de Chiapas. UACH. Chapingo, México. 121 p.
- Lugo H., J. (1989). Diccionario geomorfológico. UNAM. México. 337 p.
- Maimone C., M. R.; Aliphath; D. M.; Martínez, C.; Ramírez V., B.; Valdez H., J. I.; Macías L., A. (2006). Manejo tradicional de humedales tropicales y su análisis mediante sistemas de información geográfica (SIGs): el caso de la comunidad maya-chontal de Quintín Arauz, Centla, Tabasco. *Universidad y Ciencia*. 22(1):27-49.
- Mariaca M., R. (1993). Características tecnológicas del sistema marceño de cultivo de maíz en las tierras bajas de Tabasco. *Geografía Agrícola*. 18: 69-76.
- Mariaca M., R. (1996). El ciclo marceño en tierras bajas pantanosas de Tabasco: producción tradicional de maíz altamente eficiente. *Agrociencia*. 30: 279-286.
- Mariaca M., R.; Hernández X., E.; Castillo M., A.; Moguel O., E. (1995). Análisis estadístico de una milpa experimental de ocho años de cultivo continuo bajo roza-tumba-quema en Yucatán, México. En: E. Hernández X.; E. Bello B.; S. Levy T. (Comps). *La milpa en Yucatán*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. México. 2: 339-368.
- Miranda, F. (1958). Estudios acerca de la vegetación. En: E. Beltrán (Ed.). *Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento*. IMRNR. México. 2:215-271.
- Miranda, F.; E. Hernández X. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 28:29-179.
- Morales V., G.; Padilla V., J. (2017). Variedades locales de maíz en comunidades CH'oles de Tacotalpa, Tabasco. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*. 3(7):49-56.
- Ortega C., A.; Guerrero H., M. de J.; Preciado O., R. E.; Cota A., O. (2013a). Razas de maíz: relaciones fitogenéticas y geográficas. En: A. Ortega C.; M. de J. Guerrero H.; R. E. Preciado O. (Eds.). *Diversidad y distribución del maíz nativo y sus parientes silvestres en México*. Colegio de Postgraduados e INIFAP. Montecillo, Texcoco, México. pp. 21-43.
- Ortega C., A.; Guerrero H., M. de J.; Hernández C., J. M.; Preciado O., R. E.; Vidal M., V. A.; Gómez M., N. O.; Sierra M., M.; Aguilar C., G.; Castillo R., A.; Valadez G., J.; García H., M.; Palacios V., O.; Rincón S., F. (2013b). Diversidad y distribución de los maíces nativos en México. En: A. Ortega C.; M. de J. Guerrero H.; R. E.

- Preciado O. (Eds.). Diversidad y distribución del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. Colegio de Postgraduados e INIFAP. Montecillo, Texcoco, México. pp. 47-171.
- Ortega P., R. A. (1973). Variación de maíz y cambios socio-económicos en Chiapas, Méx. 1946-1971. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo. México, México. 199 p.
- Orozco S., A. D. L. (1999). El marceño en las zonas inundables de Tabasco. En: A. González J.; S. del Amo R. (Eds.). Agricultura y sociedad en México: diversidad, enfoques, estudios de caso. Plaza y Valdés México. pp. 111-122.
- Perales R., H.; Hernández C., J. M. (2005). Diversidad del maíz en Chiapas. En: González E., M.; Ramírez M., M.; Ruiz M., L. (Eds.). Diversidad biológica de Chiapas. Plaza y Valdés. México. pp. 337-355.
- Peraza V., H.; Casas, A.; Lindig C., R.; Orozco S., A. (2019). The marceño agroecosystem: traditional maize production and wetland management in Tabasco, México. *Sustainability*. 11(7):1-18.
- Portugal C., E. C. (2015). Diccionario de la lengua náhuatl. Porrúa. México. 952 p.
- Puente F., F.; Sánchez D., H.; Chávez R., S.; Laird R., J. (1963). Prácticas de fertilización y población óptima para siembras de maíz en las regiones tropicales de Veracruz. Folleto Técnico No. 45. INIA. México. 53 p.
- Purseglove, J. N. (1972). Tropical crops, Monocotyledons. Longman. London, UK. 607 p.
- Rendón A., B.; Aguilar R., V.; Aragón M., M. del C.; Ávila C., J. F.; Bernal R., L. A.; Bravo A., D.; Carrillo G., G.; Cornejo R., A.; Delgadillo D., E.; Hernández C., G.; Hernández H., M.; López A., A.; Sánchez G., J. M.; Vides B., E.; Ortega P., R. (2015). Diversidad de maíz en la Sierra Sur de Oaxaca, México: conocimiento y manejo tradicional. *Polibotánica*. 39:151-174.
- Rice, R. A.; Vandermeer, J. (1990). Climate and the geography of agriculture. In: C. R. Carroll; J. H. Vandermeer; P. M. Rosset (Eds.). *Agroecology*. Mc Graw – Hill. New York. USA. pp. 21-63.
- Ritter, D. F. (2002). Floodplains. *Encyclopaedia Britannica*. 15th ed. Chicago, Illinois. USA. 26: 863-868.
- Robelo, C. A. (1904). Diccionario de aztequismos. Editado por el autor. Cuernavaca, Morelos. México. 505 p.
- Ruiz C., J. A.; Durán P., N.; Sánchez G., J. de J.; Ron P., J.; González E., D. R.; Holland, J. B.; Medina G., G. (2008). Climatic adaptation and ecological descriptors of 42 Mexican maize races. *Crop Science*. 48: 1502-1512.
- Ruiz C., J. A.; Ortega C., A.; Ramírez O., G.; Guerrero H., M. de J.; Sánchez G., J. de J. (2013). Distribución actual de las razas mexicanas de maíz. En: A. Ortega C.; M. de J. Guerrero H.; R. E. Preciado O. (Eds.). Diversidad y distribución del maíz nativo y sus parientes silvestres en México. Colegio de Postgraduados e INIFAP. Montecillo, Texcoco, México. pp. 175-208.
- Ruvalcaba M., J. (1982). Tecnología y productividad de las tierras bajas de Tabasco. *Geografía Agrícola*. 2:139-147.
- Sánchez G., J. J.; Goodman M., M.; Stuber C., W. (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize in Mexico. *Economic Botany*. 54 (1): 43-59.
- Santamaría, F. J. (1992). Diccionario de mexicanismos. 5ª Ed. Porrúa. México. 1207 p.
- Sauer, J. R. (1993). Historical geography of crop plants. CRC. Boca Raton, Florida. USA. 309 p.
- Schaetzl, R. J.; Thompson M., L. (2015). Soils genesis and geomorphology. 2nd ed. Cambridge University Press. New York, NY. USA. 778 p.
- Sierra M., M.; Andrés M. P.; Palafox C. A.; Meneses M. L.; Francisco R., R.; Zambada M., A.; Rodríguez M., F.; Espinoza C., A.; Tadeo R., M. (2014). Variación morfológicas de maíces nativos (*Zea mays* L.) en el estado de Veracruz, México. *Agroproductividad*. 7(1):56-61.
- Siméon, R. 1977. Diccionario de la lengua náhuatl o mexicana. Siglo Veintiuno. México. 783 p.
- Smith, T. M.; Smith R., L. (2009). Elements of ecology. 7th ed. Pearson. San Francisco, California. USA. 649 p.
- Tamayo, J. L. (2013). Geografía moderna de México. 13ª Ed. Trillas. México. 544 p.
- Ustimenko – Bakumovski, G. V. (1982). El cultivo de plantas tropicales y subtropicales. MIR. Moscú, URSS. 427 p.
- Villalobos G., A.; López H., M. B.; Valdivia G., N. A.; Arocha G., E.; Medina M., J. (2019). Variabilidad morfológica de maíz nativo (*Zea mays* L.) en la península de Yucatán, México. *Agroproductividad*. 12(11):15-20.
- Wellhausen, E. J.; Roberts L., M.; Hernández X., E.; Mangelsdorf P., C. (1951). Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. Folleto Técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales, SAG. México. 237p.
- Whitmore, T.M.; Thurner II. B., L. (2001). Cultivated landscapes of Middle America on the eve of conquest. Oxford University Press. Oxford. UK. 311p.



Agroecological characterization of the coffee agroecosystem in La Revolucion, Tila, Chiapas, Mexico

Hernández-Gómez Carlos¹
Flores-Sánchez Diego^{1*}
Navarro-Garza Hermilo¹
Morales-Reyes Etztil Itzel²
Vicent-Fequiére Ulrick¹

Abstract

Coffee (*Coffea arabica* L.) is a crop of great socio-economic relevance in various regions of Mexico, with the state of Chiapas standing out as the country's leading producer. However, coffee production in the region faces environmental, agronomic, economic, and social challenges that affect both yield and quality. This study aims to characterize the coffee agroecosystem and its management practices, in order to identify production limitations and propose viable alternatives. A mixed-methods approach was employed, including field visits and surveys with 35 coffee-producing families, along with the evaluation of agroecological indicators on 33 coffee plots in the community of La Revolución. Findings reveal that coffee plays a central socio-economic, ecological, and cultural role for the families involved. It is cultivated within agroforestry systems that offer a range of benefits to households. Yields range from 150 to 860 kg per hectare, and 84 % of the agroecosystems assessed exhibit characteristics that support soil health, biodiversity, and crop health. In addition to these findings, common management practices were identified, along with opportunities to enhance the coffee agroecosystem—opportunities that are shaped by each household's specific social, economic, and environmental conditions.

Keywords: Agroecological indicators, coffee management practices, biodiversity, Indigenous smallholder families

Caracterización agroecológica del agroecosistema café en La Revolución, Tila, Chiapas, México

Resumen

El café (*Coffea arabica* L.) es un cultivo de gran relevancia socioeconómica en distintas regiones de México. El Estado de Chiapas se destaca por ser el mayor productor del país. Sin embargo, enfrenta retos ambientales, productivos, económicos y sociales que afectan su producción y calidad. Esta investigación tiene como objetivo caracterizar el agroecosistema del café y las prácticas de manejo utilizadas, para identificar limitaciones en la producción y proponer alternativas. Se utilizaron métodos cualitativos y cuantitativos, realizando visitas de campo y encuestas a 35 familias productoras, además de evaluar indicadores agroecológicos en 33 predios cafetaleros de la localidad La Revolución. Los resultados mostraron que el café tiene un papel fundamental en términos socioeconómicos, ecológicos y culturales de las familias. El café se cultiva en sistemas agroforestales, que favorecen diversos beneficios a las familias. La producción de café varía entre 150 y 860 kg por hectárea y el 84 % de los agroecosistemas evaluados muestra características que benefician al suelo, biodiversidad y la salud del cultivo. Se identificaron prácticas comunes en el manejo del café y áreas de oportunidad que pueden promover cambios en el agroecosistema de café, que dependen de las condiciones sociales, económicas y ambientales de cada familia.

Palabras clave: Indicadores agroecológicos, prácticas de manejo, biodiversidad, familias indígenas

¹Colegio de Postgraduados, Posgrado en Agroecología y Sustentabilidad, km 36.5 carretera Federal México-Texcoco, Texcoco Edo de México, C. P. 56264 México.

²Colegio de Postgraduados, Posgrado en Hidrociencias km 36.5 carretera Federal México-Texcoco, Texcoco Edo. De México, C P. 56264 México.

*Corresponding author: dfs@colpos.mx

Introduction

The coffee agroindustry is one of the most dynamic sectors of the global economy (Muñoz González & Mero Loor, 2020). Coffee (*Coffea arabica* L.) is one of the most widely consumed agricultural commodities (Vázquez-López et al., 2022) and serves as a key source of employment and income for families across various segments of the supply chain (Chain-Guadarrama et al., 2019; Muñoz González & Mero Loor, 2020). In Latin America, coffee farming often involves smallholder strategies aimed at generating income while conserving biodiversity, soil, and water resources (Harvey et al., 2021). In Mexico, coffee cultivation holds significant socio-economic and environmental relevance (Agri-Food and Fisheries Information Service [SIAP], 2024), a role it has played since the crop was first introduced to the country (Higuera Ciapa & Rivera Ramírez, 2018). In 2022, Mexico ranked eleventh among the world's producers of quality coffee. Chiapas, the leading state among Mexico's 14 coffee-producing states, accounted for 41 % of national production. The state provides ideal edaphoclimatic conditions for coffee cultivation (Higuera Ciapa & Rivera Ramírez, 2018) and supports the livelihoods of 180,156 producers—most of whom are Indigenous (61 %)—working on plots averaging less than 0.5 hectares, distributed across 13 coffee-growing regions (Montoya & Toledo, 2020; Instituto del Café de Chiapas, 2022). Generally, coffee is cultivated under a sustainable management approach (Ministry of Agriculture and Rural Development [SADER], 2022; Villa-Herrera Adán et al., 2023), in shaded cropping systems that provide multiple environmental services, cultural identity, and economic support for farming families (Ruelas-Monjardín et al., 2014). However, coffee production faces numerous challenges, particularly those related to climate: rising temperatures, shifting rainfall patterns, prolonged droughts, and extreme weather events such as landslides and floods. These conditions affect plant growth and development, flowering periods, and fruit ripening, while also increasing the prevalence of pests and diseases. Limited access to training and technical assistance further exacerbates these issues. Altogether, these factors contribute to declining yields and crop quality, alongside difficulties related to coffee prices and market access (Higuera & Rivera, 2018; Escamilla

Introducción

La agroindustria cafetalera es parte de los sectores económicos más dinámicos a nivel mundial (Muñoz González & Mero Loor, 2020). El café (*Coffea arabica* L.) es uno de los productos agrícolas más consumidos (Vázquez-López et al., 2022), y también es una actividad que genera empleos y divisas para las familias de diversos subsectores de la cadena de suministro (Chain-Guadarrama et al., 2019; Muñoz González & Mero Loor, 2020). En América Latina, el manejo de los cafetales incluye estrategias campesinas para obtener ingresos, así como para la conservación de la biodiversidad, suelo y agua (Harvey et al., 2021). El cultivo de café en México es una actividad que tiene una notable relevancia socioeconómica y ambiental (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2024), desde que se introdujo al país (Higuera Ciapa & Rivera Ramírez, 2018). En el año 2022, el país se posicionó en el undécimo lugar como productor de café de calidad. Chiapas, siendo el principal de los 14 estados productores, aportó el 41 % de la producción nacional. Este estado cuenta con condiciones edafoclimáticas ideales para el cultivo del café (Higuera Ciapa & Rivera Ramírez, 2018). Representa el sustento de 180 156 productoras/res, en su mayoría indígenas (61 %), quienes tienen una superficie promedio inferior a 0.5 ha, distribuidas en 13 regiones cafetaleras (Montoya & Toledo, 2020; Instituto del Café de Chiapas, 2022). De manera general, el café se cultiva bajo un enfoque de manejo sostenible (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2022; Villa-Herrera Adán et al., 2023), en sistemas de cultivo bajo sombra, que ofrecen diversos servicios ambientales, identidad cultural y sustento económico a las familias productoras (Ruelas-Monjardín et al., 2014). Sin embargo, el café enfrenta varios retos, destacando aquellos de naturaleza climática como temperaturas elevadas, cambio en los ciclos de lluvia, sequía prolongada y precipitaciones torrenciales (deslaves e inundaciones), afectando el crecimiento y desarrollo de las plantaciones, el periodo de floración y la maduración de grano, la proliferación de plagas y enfermedades, y la carencia de capacitación y asesoría técnica; en conjunto, estos factores inciden en la disminución de la producción y la calidad de las cosechas, además de las problemáticas derivadas de los precios de café y el acceso a los mercados (Hi-

et al., 2021; Ocampo et al., 2022; Hernández-Ayón et al., 2023; Contreras et al., 2023). Although efforts have been made to address these challenges (Medina-Meléndez et al., 2016), the diverse soil, climate, and cultural conditions across Chiapas call for localized studies of coffee agroecosystems throughout the state (Morales-Reyes & Adame-Martínez, 2021).

The municipality of Tila is located in the northern region of the state of Chiapas and is inhabited by *Ch'ol* and *Tzeltal* Indigenous peoples. Tila is one of the nine municipalities that make up the Palenque District. In 2023, a total of 38,683 hectares of coffee were cultivated in the municipality, yielding 47,320.42 metric tons, with an average yield of 1.30 t·ha⁻¹ (SIAP, 2024). The community of La Revolución, within Tila, recorded an average yield of 442 kg·ha⁻¹, which adversely affects family incomes, as coffee is one of their main sources of livelihood. An exploratory study conducted in La Revolución revealed that families face multiple constraints in coffee production, including low yields, limited agronomic management, insufficient technical assistance, and restricted access to marketing channels. This study aimed to characterize the coffee agroecosystem and its management practices; to apply agroecological indicators to identify factors limiting coffee production; and to define alternative management strategies.

Methodological Approach

The study was conducted in the community of La Revolución, located in the municipality of Tila (7° 18' 02" N latitude and 92° 25' 33" W longitude), in the northern region of Chiapas. This area is part of Region XIV, *Tulijá-Tzeltal-Ch'ol* (Figure 1). The municipality covers an area of 801 km² (INEGI, 2010) and is situated at an elevation of 1,062 meters above sea level (INEGI, 2017). Approximately 68 % of the municipality has a warm humid climate, while the remaining 32 % has a temperate humid climate, with year-round precipitation. Temperatures range from 16 to 28 °C, and annual precipitation varies between 1,500 and 5,000 mm. The predominant soils are Luvisol (54 %), Ferralsol (19 %), and Leptosol (19 %).

The population is predominantly of *Ch'ol* and *Tzeltal* origin and totals 83,505 inhabitants (INEGI, 2020). Approximately 82 % of the economically active population is employed in agriculture (Centro

guera & Rivera, 2018; Escamilla et al., 2021; Ocampo et al., 2022; Hernández-Ayón et al., 2023; Contreras et al., 2023). Se han hecho esfuerzos para atender la problemática (Medina-Meléndez et al., 2016), sin embargo, considerando la diversidad edafoclimática y cultural del Estado de Chiapas, son necesarios estudios de los agroecosistemas de café en los distintos territorios (Morales-Reyes & Adame-Martínez, 2021).

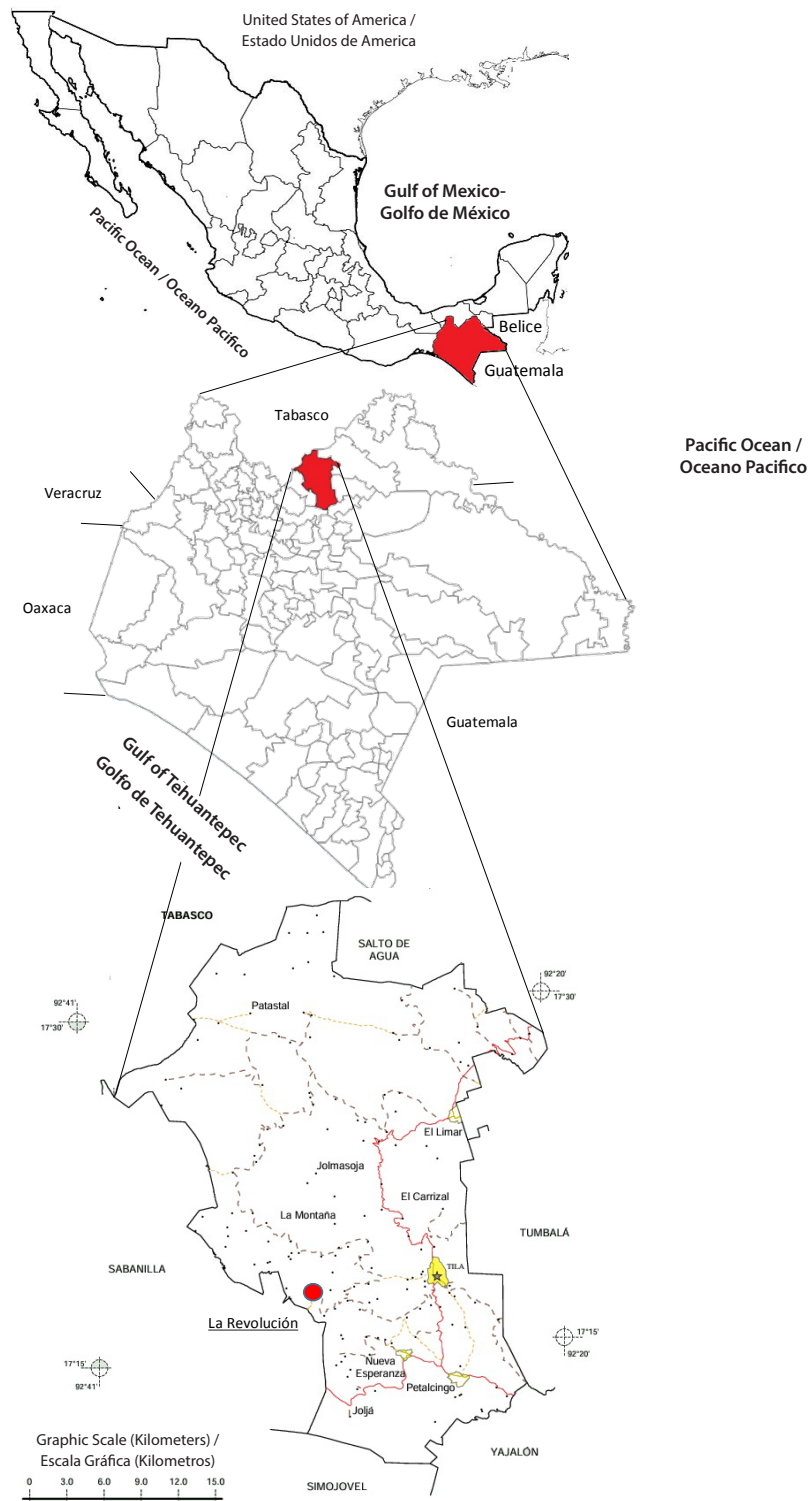
El municipio de Tila se localiza en la región norte del estado de Chiapas, donde habitan las etnias *Choles* y *Tzeltales*. Tila es uno de los nueve municipios que integran el Distrito Palenque; en el año 2023 se cultivaron 38 683 ha de café, con una producción de 47 320.42 t y un rendimiento promedio de 1.30 t·ha⁻¹ (SIAP, 2024). La comunidad de La Revolución, perteneciente al municipio de Tila, tiene un rendimiento promedio de 442 kg·ha⁻¹ lo cual genera un impacto negativo en la economía familiar, dado que el café es una de las principales fuentes de ingreso. En un estudio exploratorio realizado en La Revolución, Tila, se observó que las familias enfrentan varias limitaciones en la producción del café, destacando baja productividad, escaso manejo agronómico, insuficiente asesoría técnica, escasos canales de comercialización, entre otros. El presente estudio tuvo como objetivos caracterizar el agroecosistema café y sus prácticas de manejo, aplicar indicadores agroecológicos para identificar los factores que limitan la producción de café y definir alternativas de manejo.

Enfoque Metodológico

El estudio se realizó en la comunidad La Revolución, del municipio de Tila (7° 18' 02" latitud norte y 92° 25' 33" longitud oeste), ubicado en la región norte de Chiapas y es parte de la región XIV TulijáTzeltal-Chol (Figura 1). El municipio, tiene una extensión de 801 km² (INEGI, 2010), y una altura de 1 062 msnm (INEGI, 2017). En 68 % del municipio predomina un clima cálido húmedo y en el 32 % restante, templado húmedo, con lluvias todo el año. La temperatura oscila entre 16 y 28 °C, y un rango de precipitación de 1500 a 5000 mm. Los suelos dominantes son Luvisol (54 %), Ferrasol (19 %) y Leptosol (19 %).

La población pertenece a la etnia *Chol* y *Tzeltal* y cuenta con 83 505 habitantes (INEGI, 2020). El 82 % de la población activa se dedica a la agricultura (Centro de Investigación en Geografía y Geomática,

Figure 1. Location of the municipality of Tila and the community of La Revolución, Chiapas
Figura 1. Ubicación del municipio de Tila y la localidad La Revolución, Chiapas



Source: National Institute of Statistics and Geography (INEGI), 2010).
Fuente: (Instituto Nacional de Geografía e Informática [INEGI], 2010).

de Investigación en Geografía y Geomática, 2016). In 2022, 27,874 hectares were cultivated with corn for grain, coffee, beans, oranges, and macadamia nuts. Among these, corn (48 %) and coffee (33 %) were the most important crops in terms of cultivated area (SIAP, 2023).

The study employed a mixed-methods approach, integrating both quantitative and qualitative methodologies (Moscoso, 2017; Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). It followed a descriptive, cross-sectional, and exploratory design (du Toit, 2015): *descriptive* in examining the characteristics of coffee agroecosystems; *cross-sectional* in collecting data at a single point in time with no follow-up; and *exploratory* due to the limited prior research on the community. This approach allowed researchers to understand, describe, explore, and analyze the current state of coffee agroecosystems among smallholder farming families.

The qualitative instruments included field visits, participant and non-participant observation, and interviews with key informants.

The quantitative component involved the use of a structured questionnaire organized into two main sections: (1) socioeconomic characteristics of coffee producers, including age, level of education, economic activities, land area devoted to agricultural and livestock production, cropping and livestock systems, government support, access to credit, training, organizational affiliation, production destination, and marketing; and (2) technical characteristics—specifically, socio-technical practices and challenges within the coffee agroecosystem—including varieties cultivated, plant density, coffee seedbeds/nurseries, planting and renovation of coffee plants, pruning, shade management and regulation, fertilization, weed control, pest and disease management, soil and water conservation, harvesting, and commercialization. The questionnaire was administered to 35 coffee-producing families who agreed to participate in the study.

A complementary tool was used to assess agroecological indicators proposed by Venegas et al. (2018), related to biodiversity, soil properties, and crop health. These indicators were selected and adapted to the specific conditions of the coffee plots. Each indicator was rated on a three-level scale:

2016). En el 2022 se cultivaron 27 874 ha de maíz para grano, café, frijol, naranja y macadamia. Los cultivos de mayor importancia por su superficie cultivada son el maíz (48 %) y el café (33 %) (SIAP, 2023).

La investigación tuvo un enfoque mixto, integró métodos cuantitativos y cualitativos (Moscoso, 2017; Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018), con un diseño descriptivo, transversal y exploratorio (du Toit, 2015). Descriptivo, al estudiar las características de los agroecosistemas de café. Transversal, al realizarse en un tiempo específico sin seguimiento posterior. Exploratorio, considerando que no había suficientes antecedentes de la comunidad estudiada. Este diseño permitió conocer, describir, explorar y analizar la situación actual de los agroecosistemas de café de familias campesinas.

Los instrumentos cualitativos aplicados fueron recorridos de campo, observación participante y no participante, y entrevistas con informantes clave.

El componente cuantitativo consideró la aplicación de un cuestionario estructurado en dos ejes: 1) características socioeconómicas de los productores(as) de café: edad, escolaridad, actividades económicas, superficie para actividades agropecuarias, patrón de cultivos y ganadería, apoyos gubernamentales, acceso a crédito, capacitación, organización, destino de la producción y comercialización; 2) características técnicas (prácticas socio técnicas) y problemática del agroecosistema de café: variedades, densidad de población, semillero-vivero de café, siembra/renovación de las plantas de café, podas, manejo y regulación de la sombra de café, fertilización, manejo de hierbas, plagas y enfermedades, conservación de suelo y agua, cosecha y comercialización. El cuestionario se aplicó a 35 familias productoras de café, quienes aceptaron colaborar en la investigación.

Se utilizó un instrumento complementario para determinar indicadores agroecológicos, propuestos por Venegas et al., (2018), relacionados con la biodiversidad, propiedades del suelo y la salud del cultivo, los cuales fueron seleccionados y adaptados a las condiciones de las parcelas de café. Estos indicadores presentaron tres niveles de ocurrencia: (1) valor bajo, (5) valor intermedio y (10) valor alto. Los indicadores que alcanzaron valores cercanos a 10 sugieren que las prácticas son adecuadas según los principios

(1) low, (5) intermediate, and (10) high. Scores approaching 10 indicate that the management practices are consistent with agroecological principles. In addition, shade cover in the coffee plantations was estimated using the Visual Shade Template (VST) developed by Farfán (2015). Both the indicators and the shade assessment were applied to the coffee agroecosystems managed by the participating families.

Data were systematized and analyzed using Excel and JASP for statistical processing. Results were presented in tables and figures. For the agroecological indicators, radar charts and bar graphs were used to illustrate trends across the three levels of occurrence.

Results and Discussion

Socioeconomic profile of production units

The average age of coffee producers was 38, with 66 % of respondents between the ages of 30 and 59. Approximately 29 % of family production units are managed by young individuals aged 19 to 29. Adult producers are primarily responsible for managing coffee production units—a trend also observed in other coffee-producing regions of Chiapas (Escamilla et al., 2005; Escamilla et al., 2021). Youth participation remains limited, as many tend to migrate and become involved in non-agricultural activities.

Regarding the educational level of the families, fewer than 50 % had completed basic education, and 14 % had no formal schooling—figures similar to those reported by Escamilla et al. (2021). Indigenous monolingual families in Chiapas, with limited proficiency in Spanish and low levels of formal education, face significant barriers to community self-management. Consequently, more educated non-Indigenous individuals often assume responsibility for addressing local needs (Vargas, 2007). In this context, Núñez (2017) notes that illiteracy in Chiapas is influenced by household income, which limits access to basic education and contributes to the region's persistent poverty and inequality.

The surveyed families engage in up to six economic activities, with agriculture—specifically coffee cultivation and *milpa* farming—being the primary livelihood, practiced by 100 % of respondents. This is followed by day labor (34 %) and skilled trades (20 %). Additionally, 20 % of families receive income

agroecológicos. Asimismo, se realizó la estimación de la sombra del cafetal utilizando la Plantilla Visual de Sombras (PVS), propuesta por Farfán (2015). Los indicadores y la estimación de la sombra se aplicaron a los agroecosistemas de café de las familias participantes en la investigación.

La sistematización y análisis de datos se realizó mediante Excel, El Jasp para el análisis estadístico, los resultados se presentaron en tablas y gráficas; en el caso de los indicadores se utilizó una gráfica de radar y gráficas de barras para cada indicador para visualizar las tendencias de los tres niveles de ocurrencia.

Resultados y Discusión

Perfil socioeconómico de las unidades productivas

La edad promedio de los(as) productores(as) fue de 38 años, y el 66 % de los(as) encuestadas está en el grupo de edad de 30 a 59 años. Alrededor de un 29 % de las unidades de producción familiar son gestionadas por jóvenes, cuyas edades fluctúan entre 19 y 29 años. Las personas adultas son responsables de las unidades de producción de café, una tendencia observada en varias regiones productoras en Chiapas (Escamilla et al., 2005; Escamilla et al., 2021). La participación de los jóvenes es escasa porque este grupo suele emigrar y se involucran en actividades ajenas a la agricultura.

En cuanto al nivel educativo de las familias, se encontró que menos del 50 % tienen educación básica, el 14 % carece de educación formal, cifras similares a las reportadas por Escamilla et al. (2021). Las familias indígenas monolingües de Chiapas que tienen escaso dominio del español y carecen de estudios básicos, enfrentan limitaciones en la autogestión comunitaria, dejando a personas no indígenas con más preparación para gestionar sus requerimientos (Vargas, 2007). En este sentido, Núñez (2017) indica que el analfabetismo en Chiapas es influenciado por los ingresos familiares, un aspecto que dificulta el acceso a la alfabetización desde la educación básica, lo que resulta en altos niveles de pobreza y desigualdad en la región.

Las familias encuestadas tienen hasta seis actividades económicas, siendo la agricultura (el cultivo de café y la milpa) la principal, realizada por el 100 % de la población estudiada, seguida por la actividad de

from federal social programs. Although coffee production generates income for all families, it is insufficient to meet their basic needs. As a result, families have diversified their economic activities both within and beyond their communities to supplement household income (Fletes & Hernández, 2023). Studies conducted in coffee-growing regions of Chiapas and Oaxaca have shown that income from coffee sales accounts for only about 19 % of total household income, while the largest share—approximately 40 %—comes from wage labor or remittances (Barham et al., 2011).

On average, families manage 3.14 hectares of land cultivated under agroforestry systems, typically including coffee (0.89 ha on average) intercropped with maize (86 %) in traditional polycultures—one of the most widespread farming systems in the country (Higuera Ciapa & Rivera Ramírez, 2018). Coffee plots commonly feature associations of timber and fruit trees (e.g., pineapple, banana), annual crops (e.g., maize, beans, squash, sweet potato, chayote, chaya, among others), and a variety of *quelites* (edible wild greens), which serve as dietary supplements for the family. The promotion of agrobiodiversity within coffee plots is a strategy that enables families to access multiple resources—food, energy, construction materials, and medicinal plants—and represents a common feature in coffee-growing regions of Chiapas (Escamilla et al., 2021).

In addition to agriculture, families engage in small-scale livestock farming. Backyard poultry raising is practiced by 83 % of households, while pig and cattle farming are less common, at 20 % and 11 %, respectively. All family members participate in livestock care and management. Cattle are primarily raised for commercial purposes and sold within the region, whereas poultry and pigs are mainly intended for family consumption. However, when there are surpluses, they are sold in local markets, helping to supplement household income.

Characteristics of the coffee agroecosystem

Management practices in the coffee agroecosystem

Coffee production in the state of Chiapas is managed and preserved by small-scale Indigenous and mestizo farming units, which often participate in local

jornaleros con un 34 % y los oficios con un 20 %. Sin embargo, es importante señalar que el 20 % de las familias reciben ingresos de los programas sociales de carácter federal. Aunque la producción de café proporciona ingresos a todas las familias, no satisface sus necesidades básicas. Razón por la que las familias han diversificado sus actividades económicas tanto dentro como fuera del territorio para complementar sus fuentes de ingresos (Fletes & Hernández, 2023). Varios estudios en regiones cafetaleras de Chiapas y Oaxaca han mostrado que los ingresos provenientes de la venta del café representan alrededor del 19 %, y la mayor parte del ingreso (40 %) proviene de trabajo asalariado o remesas (Barham et al., 2011).

Las familias tienen en promedio una superficie de 3.14 ha, cultivadas bajo sistemas agroforestales, que generalmente incluyen el café (promedio de 0.89 ha) combinado con maíz (86 %) en un policultivo tradicional, uno de los sistemas más comunes en el país (Higuera Ciapa & Rivera Ramírez, 2018). En los cafetales predominan asociaciones entre especies maderables, frutales (piña, plátano), cultivos anuales (maíz, frijol, calabaza, camote, chayote, chaya, entre otras), y diversos *quelites*, que se utilizan como complemento alimenticio en la dieta familiar. El fomento de esta agrobiodiversidad en los cafetales es una estrategia que posibilita a las familias obtener diferentes beneficios (alimentos, energía, construcción, medicinas); constituyendo un elemento común en las regiones cafetaleras de Chiapas (Escamilla et al., 2021).

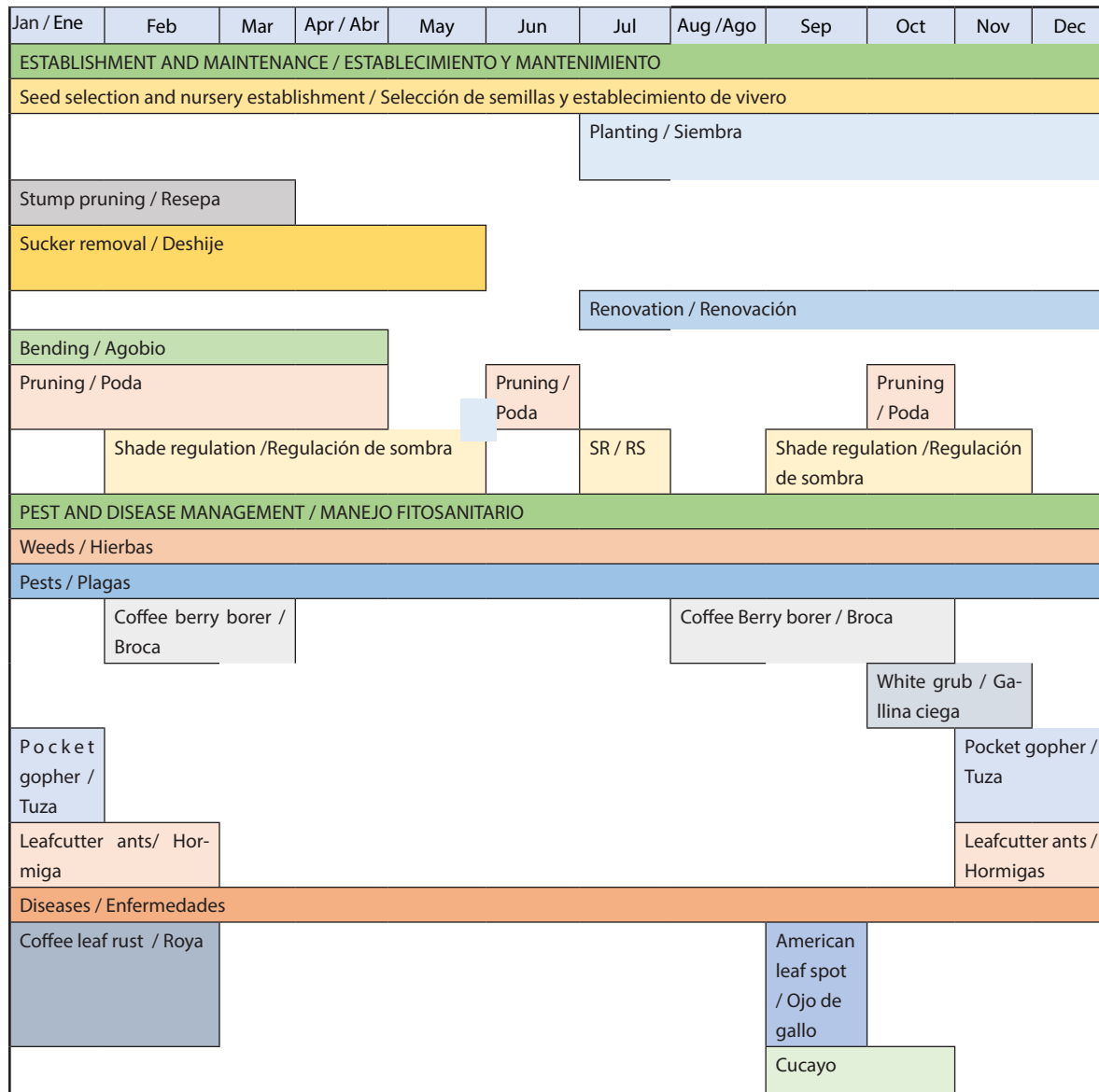
Además de la agricultura, las familias practican la ganadería a pequeña escala; la crianza de aves de traspatio es realizada por el 83 % de las familias, en menor proporción se crían cerdos (20 %) y ganado bovino (11 %). En el manejo y cuidado del ganado participan todos los miembros de la familia. El ganado bovino se utiliza con fines comerciales para la venta en la región, mientras que las aves y cerdos son destinados al autoconsumo familiar, sin embargo, cuando hay excedentes, se venden en el mercado local, lo que ayuda a incrementar los ingresos de la familia.

Características del agroecosistema de café

Prácticas de manejo del agroecosistema de café

La cultura cafetalera en el Estado de Chiapas es manejada y preservada por pequeñas unidades de producción indígenas o mestizas. Siendo, participantes

Figure 2. Coffee agroecosystem management practices in La Revolución, Tila, Chiapas, Mexico.
Figura 2. Prácticas de manejo del agroecosistema de café en La Revolución, Tila, Chiapas, México.

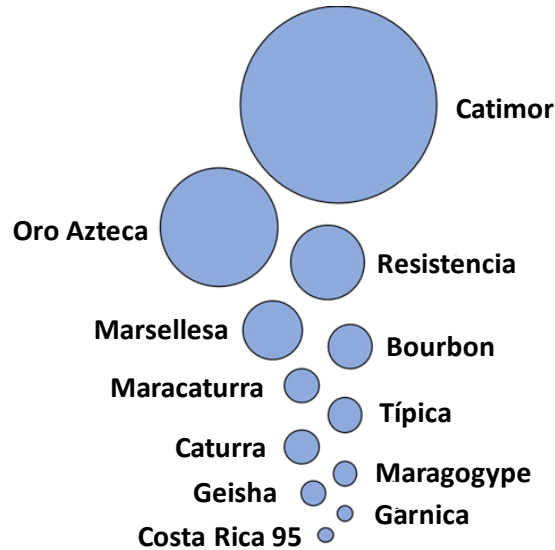


initiatives aimed at promoting Mexican coffee cultivation (Toledo & Moguel, 2012). As a result, families have adopted a range of common practices to manage their coffee agroecosystems. The agroecosystem management was defined based on the most commonly implemented practices among the surveyed families. In the community of La Revolución, eleven practices were identified in addition to harvesting and marketing (Figure 2). Eight of these relate to establishment and maintenance, including nursery establishment, planting, stump pruning (*recepta*), sucker removal (*deshije*), renovation, bending (*agobio*),

de iniciativas locales que fomentan la caficultura mexicana (Toledo & Moguel, 2012). Esto ha llevado, a que las familias adopten varias prácticas comunes para gestionar los agroecosistemas cafetaleros. El manejo del agroecosistema de café se definió de acuerdo con las prácticas más comunes realizadas por las familias estudiadas. En la localidad de La Revolución se identificaron once prácticas, además de la cosecha y comercialización (Figura 2). En el establecimiento y mantenimiento se identificaron 8 prácticas, que incluyen establecimiento de vivero, siembra, recepta, deshije, renovación, agobio poda,

Figure 3. Coffee varieties cultivated in the agroecosystems of Tila, Chiapas. The size of each circle indicates the proportion in which each variety is grown.

Figura 3. Variedades de café cultivadas en los agroecosistemas de Tila, Chiapas. El tamaño de círculo indica la proporción en que es cultivada cada variedad.



pruning, and shade regulation. The remaining three are associated with phytosanitary management: weed control, pest control, and disease control.

Seed selection and the establishment of home-based coffee nurseries are practices that can be carried out throughout the year. However, only 43 % of surveyed families reported having their own nurseries. The remaining 57 % obtain seedlings directly from their coffee plots, where they sprout from fallen seeds, and use them for planting or renewing their coffee stands. Additionally, 97 % of families carry out planting or transplanting between July and December, which corresponds to the rainy season.

One notable aspect is the diversity of coffee varieties cultivated by the families, with twelve identified (Figure 3). However, in 50 % of households, the most common varieties are *Catimor* (91 %) and *Oro Azteca* (55 %). These varieties are high-yielding, require careful agronomic management, and are resistant to coffee leaf rust, but they are susceptible to Anthracnose (Escamilla et al., 2015; Escamilla, 2016; National Coffee Association [ANACAFÉ], 2019). Other varieties are grown in smaller proportions, ranging from 33 % (*Resistencia*, a local name for a *Catimor*-type variety) to 3 % (*Garnica* and *Costa Rica 95*). Overall, these varieties tend to be susceptible to coffee leaf rust (Esca-

regulación de sombra; el manejo fitosanitario incluye tres intervenciones: hierbas, plagas y enfermedades.

La selección de semilla y el establecimiento de viveros propios de café son prácticas que se pueden realizar todo el año. Sin embargo, solo el 43 % de las familias encuestadas tienen sus propios viveros. El 57 % restante indica haber obtenido plántulas de los mismos cafetales, a partir de semillas caídas, que se utilizan para la siembra o renovación del cafetal. El 97 % de las familias hacen la siembra o trasplante entre julio y diciembre; periodo con mayor precipitación.

Un aspecto por resaltar es la diversidad de variedades cultivadas por las familias; se identificaron doce variantes (Figura 3), sin embargo, en el 50 % de las familias las más comunes son *Catimor* (91 %) y *Oro Azteca* (55 %). Estas variedades son productivas, requieren un cuidadoso manejo agronómico, son resistentes a la roya, pero, son susceptibles al ojo de gallo (Escamilla et al., 2015; Escamilla, 2016; Asociación Nacional del Café [ANACAFÉ], 2019). Las demás variedades son sembradas en proporciones que oscilan entre el 33 % (*Resistencia*, nombre local de una variedad tipo *catimor*) y 3 % (*Garnica* y *Costa Rica 95*). En términos generales, estas variedades son susceptibles al ataque de roya (Escamilla, 2016; ANACAFÉ, 2019). Desafíos como la incidencia de pla-

milla, 2016; ANACAFÉ, 2019). Challenges such as pest and disease outbreaks (Medina-Meléndez et al., 2016), drought, excessive rainfall, and extreme temperatures (Higuera Ciapa & Rivera Ramírez, 2018), among others, have significantly affected the coffee sector in this region. As a result, families have opted to incorporate new coffee varieties into their routines.

The average plant density in the coffee plots is 3,769 plants·ha⁻¹, with a range from 2,133 to 5,333 plants·ha⁻¹. A study conducted in five municipalities of Chiapas found that coffee plantation densities varied between 3,334 and 4,444 plants·ha⁻¹ (Medina-Meléndez et al., 2016). The average value observed in La Revolución falls within this range; however, the lowest recorded figure is 64 % lower than that reported by Medina-Meléndez et al. (2016). According to Escamilla et al. (2021), the highest planting densities are found in the regions of Ángel Albino Corzo and Motozintla, Chiapas, while lower values are reported in Bochil and Pichucalco. These differences are attributed to agroecological conditions, cropping systems, pruning management, and the type of coffee variety grown.

Seventy-one percent of families reported engaging in some form of tissue management, including stump pruning (*recepta*), bending (*agobio*), sucker removal (*deshije*), and branch pruning. The remaining 29 % reported not practicing any of these methods. It is generally observed that after seven years, coffee plantations tend to show a decline in productivity, making tissue management essential to stimulate the emergence of new shoots or vigorous growth, thereby enhancing coffee production (TechnoServe et al., 2021).

Tissue management practices are carried out year-round, depending on the growth stage and development of the coffee plants. The practice known as *recepta* or *zoca* is applied when plants are no longer productive and show signs of exhaustion. It involves cutting the main stem at a 45° angle, approximately 40 cm above the ground, to stimulate the emergence of new shoots. *Agobio* is performed on two-year-old plants and consists of bending the stem and securing it with a wooden stick (*garabato*) or a banana trunk, tying it with raffia to create a 45° angle toward the planting row. This technique encourages the development of new shoots along the bent stem (Coffee Research Center [CEDICAFÉ], 2015).

gas y enfermedades (Medina-Meléndez et al., 2016), sequía, lluvias abundantes, temperaturas extremas, (Higuera Ciapa & Rivera Ramírez, 2018) entre otros, son eventos que han impactado la agroindustria del café en esta región. Esto lleva a que las familias elijan incorporar nuevas variedades.

La densidad de población promedio del cafetal es de 3 769 plantas·ha⁻¹, con un rango que va de 2 133 a 5 333 plantas·ha⁻¹. En una investigación realizada en cinco municipios del estado de Chiapas, se encontró que las densidades de población de plantaciones de café fluctuaban entre 3 334 y 4 444 plantas·ha⁻¹ (Medina-Meléndez et al., 2016). El valor promedio de la localidad La Revolución se ubica dentro del intervalo encontrado en el estudio mencionado, sin embargo, la densidad de población más baja es un 64 % menor que la reportada por Medina-Meléndez et al. (2016). De acuerdo con Escamilla et al. (2021), las plantaciones de café en las zonas de Ángel Albino Corzo y Motozintla Chiapas presentan las densidades de población más elevadas, mientras que en Bochil y Pichucalco se hallaron densidades más bajas. Estas diferencias se deben a las condiciones agroecológicas, el sistema de cultivo, manejo de podas y el tipo de variedad de café.

El 71 % de las familias afirman llevar a cabo algún tipo de manejo de tejidos: *recepta*, *agobio*, *deshije* y poda de ramas; el 29 % restante indica no llevar a cabo estas prácticas. Se indica que, a partir de los siete años, las plantaciones de café sufren una disminución en su rendimiento, lo que requiere el manejo de los tejidos, con el fin de estimular la aparición de nuevos brotes o tejidos vigorosos y aumentar la producción de café (TechnoServe et al., 2021).

Las prácticas de manejo de tejidos se realizan a lo largo del año, considerando el estado de crecimiento y desarrollo de las plantas de café. La *recepta* o *zoca*, ocurre cuando las plantas dejan de ser productivas y se observa un agotamiento. Se realiza un corte de 45° en el tallo de la planta a 40 cm del suelo para estimular nuevos brotes. La práctica conocida como *agobio*, se realiza en plantas que tienen dos años; consiste en doblar el tallo de la planta, sujetándolo con madera (*garabato*) o un tronco de plátano y amarrándolo con rafia hasta formar un ángulo de 45° hacia el lado del surco de las plantaciones. Esto induce la emisión de brotes en el tallo agobiado (Centro

The removal of suckers (*deshije*) is carried out at various stages: in productive bent-over (*agobiadas*) plantations, in young bent-over plants—where three suckers are selected—and in pruned (*recepados*) stems. In all cases, healthy, vigorous suckers that are well distributed along the plant stems are selected.

Pruning is a practice that can be carried out at three points during the year—after the harvest and mid-year. It involves removing old branches and those affected by pests or diseases. The aim is to stimulate the development of new shoots and improve fruit production. Pruning is also associated with shade regulation, as shaded coffee plantations create a microclimate that must be managed through proper shade control. This involves removing stems to allow for greater light penetration and air circulation, thereby reducing conditions that favor the emergence of pests and diseases (Vargas, 2007; CEDICAFÉ, 2015).

In the studied coffee plantations, the shade canopy is diverse, including timber species, legumes, fruit trees, and others. Optimal shade levels range from 20 % to 70 %, depending on local agroecological factors such as temperature, rainfall, elevation, annual sunlight hours, and soil nutrient availability. For this reason, pruning—a practice highlighted by 91 % of the families—is considered essential for pest and disease management, improved yields, plant health, and the production of high-quality fruit (Villarreyna & Avelino, 2016; TechnoServe et al., 2022).

Weed management is an activity that can be carried out throughout the year; however, it is typically performed at least three times annually. Some families do not weed their coffee plots, either due to the advanced age of family members or, more notably, because their children have migrated elsewhere and are no longer available to help.

In the coffee agroecosystems studied, pest management is conducted from August through April. The most frequently reported pests include the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari), cited by 74 % of producers; pocket gophers (*Heterogeomys hispidus* Le Conte), reported by 57 %; white grubs (*Phyllophaga* spp.), mentioned by 48 %; and leaf-cutter ants (*Atta* spp.), noted by 46 %. These species form part of the typical pest complex found in coffee plantations in Chiapas (Escamilla et al., 2021). Con-

de Investigaciones en Café [CEDICAFÉ], 2015).

El *deshije* se realiza en diversos momentos: en plantaciones *agobiadas* en producción; en plantaciones jóvenes *agobiadas* se seleccionan tres hijos, y en tallos *recepados*. En los tres casos se seleccionan los brotes sanos, vigorosos y que se encuentren bien distribuidos en los tallos de las plantas.

La poda es una práctica que se puede llevar a cabo en tres momentos durante el año, después de la cosecha y a la mitad del año. Se eliminan las ramas viejas y con una afectación por plagas y enfermedades. Con esta práctica se busca estimular nuevos brotes y favorecer la producción de frutos. La poda está asociada a la regulación de sombra; los cafetales bajo sombra favorecen un microclima que debe ser regulado mediante el manejo de la sombra. Esta práctica consiste en eliminar tallos para promover la entrada de luz y circulación de aire como medida para reducir las condiciones que favorecen la aparición de plagas y enfermedades (Vargas, 2007; CEDICAFÉ, 2015).

En los cafetales estudiados, el tipo de sombra es variado, incluyendo especies maderables, leguminosas, frutales, entre otras. La sombra necesaria oscila entre el 20 y el 70 %, dependiendo de factores agroecológicos del lugar, tales como la temperatura, precipitación, altura, horas luz en el año y los nutrientes presentes en el suelo. Por eso, la relevancia de las podas, mencionada por el 91 % de las familias, es una práctica que ayuda en el manejo de plagas, enfermedades, mejora de rendimiento, plantas saludables y frutos de calidad (Villarreyna & Avelino, 2016; TechnoServe et al., 2022).

El manejo de hierbas es una actividad que se puede realizar a lo largo del año; sin embargo, esta se lleva a cabo al menos tres veces al año; no obstante, algunas familias, no *deshierban* el cafetal, debido a su edad, y especialmente, por falta del apoyo de los hijos, que emigran a otros lugares.

En los agroecosistemas de café estudiados el manejo de plagas se lleva a cabo desde el mes de agosto hasta abril. Las plagas con mayor incidencia son la broca (*Hypothenemus hampei* Ferrari), mencionada por el 74 %, la tuza (*Heterogeomys hispidus* Le Conte) indicada por el 57 % de los cafetaleros/as, la gallina ciega (*Phyllophaga* sp.) con un 48 %, y hormigas (*Atta* sp.) reportada por el 46 %. Las especies reportadas se ubican dentro del complejo de plagas encontrado en

control methods include mechanical practices, chemical products such as Arrivo (cypermethrin) and Foley (ethyl chlorpyrifos), and traps containing ethyl alcohol, soap, and ash. In some cases, no control measures are implemented due to a lack of knowledge about pest management.

In the case of diseases, two periods of incidence were identified: the first between September and October, and the second between January and February. A total of 80 % of families reported problems with coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome), 60 % with American leaf spot (*Mycena citricolor* Berk. et Curt. Sacc.), and around 43 % mentioned cucayo, a fungal disease of unknown etiology. According to producers, visible symptoms include the gradual wilting of leaves, eventually leading to the death of the entire plant. White mycelium is observed in the root zone. Its occurrence is associated with limited sunlight and excessive moisture. To prevent its development, lime is applied at the base of the trees and trenches are dug to facilitate drainage and reduce soil humidity.

As a general disease control measure, branches exhibiting signs of fungal damage are removed mechanically.

The harvest period takes place from October to February, during which at least four rounds of ripe cherry picking are carried out. Yields for the 2023–2024 cycle varied across family plots. For comparison purposes, yields were extrapolated to kilograms per hectare. Households with one hectare reported an average yield of 442 kg·ha⁻¹, with a range from 150 kg to 860 kg·ha⁻¹. Families with less than one hectare achieved an average yield of 221 kg·ha⁻¹. Yields in La Revolución are significantly lower than the state average reported for Chiapas—1,630 kg·ha⁻¹ (SIAP, 2024)—highlighting the area's low productivity.

Once the coffee cherries are harvested, they are taken home for pulping. The beans are then fermented and washed; after cleaning, the parchment coffee is dried for at least three days. Once the drying process is complete, the coffee is ready for sale. About 25 % of families sold their harvest to the YAXCOFFEE Cooperative Society, which operates a collection center in the community and a warehouse in Yajalón, Chiapas. It is worth noting that these families are not cooperative members. The remaining 75 % sold

los cafetales de Chiapas (Escamilla et al., 2021). Para el manejo de estos insectos, se implementan prácticas mecánicas, uso de productos químicos como Arrivo (cipermetrina), Foley (clorpirifos etil), trampas con alcohol etílico, jabón y ceniza. En algunos casos no se realiza ningún tipo de control debido a la falta de conocimiento sobre el manejo.

En el caso de enfermedades, hay dos periodos de incidencia, el primero ocurre entre septiembre y octubre, y el segundo entre enero y febrero. El 80 % de las familias mencionaron tener problemas con la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome), el 60 % tienen incidencia de ojo de gallo (*Mycena citricolor* Berk. et Curt. Sacc.), y cerca del 43 % mencionó al cucayo, una enfermedad de origen fúngica, cuyo agente causal es desconocido. Los productores mencionan que los síntomas visibles son el marchitamiento gradual de las hojas hasta que la planta entera se seca. En la zona radicular se observan micelios de color blanco. Su aparición la asocian con la falta de luz y el exceso de humedad, Para prevenir su aparición, se aplica cal en la base de los árboles y se excavan zanjas para facilitar el drenaje y disminuir la humedad del suelo.

Como medidas de control general para las enfermedades, se eliminan de manera mecánica las ramas que presentan algún tipo de daño causado por hongos.

El periodo de cosecha se realiza entre el mes de octubre y febrero, durante el cual se registran al menos cuatro cortes de café cereza madura. El rendimiento encontrado en el ciclo 2023-2024, muestra variabilidad entre las parcelas de las familias; con fines comparativos se extrapoló el rendimiento a kilogramos por hectárea, las que tienen una hectárea reportan una producción promedio de 442 kg·ha⁻¹ con rango que fluctúa entre 150 kg y 860 kg·ha⁻¹. Las familias con menos de una hectárea obtienen un rendimiento promedio de 221 kg·ha⁻¹. Los rendimientos encontrados en La Revolución son notablemente menores que el valor promedio reportado para el Estado de Chiapas, 1 630 kg·ha⁻¹ (SIAP, 2024), lo que resalta la baja productividad.

Una vez que los frutos son cosechados, se trasladan a la casa para realizar el despulpado. Posteriormente se deja fermentar, después se lava; una vez que está limpio, el café en pergamino se seca por lo menos tres días. Una vez que el café está listo, se procede a su comercialización. El 25 % de las familias

their coffee to a local intermediary from neighboring communities.

Coffee cultivation requires year-round agronomic management, and families face uncertainties in both production and market prices. Since the 1990s, coffee prices have remained persistently low and volatile (Henderson, 2019). These trends have prompted families to diversify their income sources in order to meet basic needs, which has, in turn, led to a simplification of coffee management practices. As a result, coffee plots have been somewhat neglected, as producers increasingly turn to more stable and better-paying forms of wage labor (Vázquez-López et al., 2022).

Biodiversity in coffee plots and its common uses

Plant biodiversity in coffee plots is essential for local families. Shade-grown coffee systems are typically diverse environments where smallholder families interplant forest, fruit, medicinal, and vegetable species, among others. In recent years, the benefits of shade-grown coffee have become increasingly recognized, as these systems serve as refuges for both flora and fauna (Manson et al., 2028), while also providing food for families and fulfilling various other functions. In the coffee agroecosystems of La Revolución, families have identified up to 60 plant species. Figure 4 shows the 26 most common species found in these plots. This diversity includes both native and introduced species, which serve up to seven functions: shade, firewood, food, boundary demarcation, medicine, construction, and fencing. The three most frequently occurring genera are *Inga* and *Musa*, found in over 70 % of the coffee agroecosystems. More than 90 % of the species are used for shade and cooking fuel, while 44 % are used for food and home construction. Less than 7 % are used for medicinal purposes, fencing, or as boundary markers. In this context, coffee agroecosystems are not only a source of income for families but are also regarded as multifunctional spaces that provide vital ecosystem services—particularly provisioning and environmental services.

Within these agroecosystems, more than half (36) of the plant species identified in the coffee plots serve at least three common purposes, including shade, firewood, food, construction, fencing, boundary demarcation, and medicinal use. Species such as

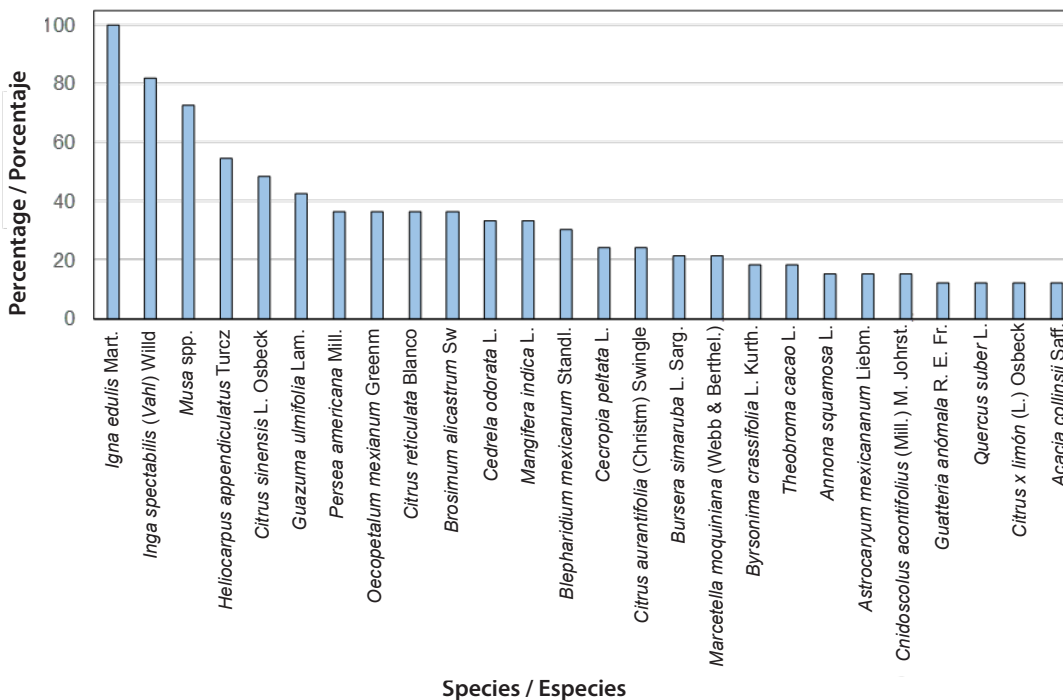
vendieron sus cosechas a la Sociedad Cooperativa de YAXCOFFEE, un centro de acopio de la comunidad y bodega en Yajalón, Chiapas. Cabe mencionar que las familias no son socias de la cooperativa. El 75 % vendieron a un intermediario local de comunidades vecinas.

El cultivo de café requiere un manejo agronómico durante todo el año, las familias enfrentan incertidumbres tanto en la producción como en los precios de la comercialización. Desde la década de los noventa, del siglo pasado, el precio del café ha sido bajo y variable (Henderson, 2019). Estas tendencias han llevado a que las familias diversifiquen sus fuentes de ingresos para satisfacer sus necesidades básicas; además, esto ha impactado en la simplificación del manejo del cultivo de café. Esta situación ha provocado un cierto descuido de los cafetales, mientras los productores buscan ingresos en actividades más estables y remuneradas, principalmente en diferentes modalidades de trabajo asalariado (Vázquez-López et al., 2022).

La biodiversidad de los cafetales y sus usos comunes

La biodiversidad vegetal en los cafetales es esencial para las familias de la localidad. Los cafetales bajo sombra suelen ser entornos diversos donde las familias campesinas combinan especies de árboles forestales, frutales, medicinales y hortalizas entre otras. En años recientes, se han destacado los beneficios de los cafetales bajo sombra, ya que actúan como refugio de fauna y flora (Manson et al., 2028), además de proporcionar alimentos para las familias y cumplir otros propósitos. En los agroecosistemas de café de La Revolución, las familias han identificado hasta 60 especies de plantas. En la Figura 4 se presentan las 26 especies más comunes en los cafetales. Esta diversidad incluye especies nativas e inducidas, que pueden tener hasta siete usos: sombra, leña, alimento, lindero, medicinal, construcción y cercos. Las tres especies más frecuentes son del género *Inga* y *Musa*, que están presentes en más del 70 % de los agroecosistemas de café. Más del 90 % de las especies son usadas para sombra y combustible para cocinar, mientras que el 44 % se emplea para alimento y construcción de viviendas. En proporciones menores al 7 % se utiliza para fines medicinales, establecimiento de cercos y linderos. En este contexto, los

Figure 4. Most frequent plant species in the coffee agroecosystems of La Revolución, Tila, Chiapas.
Figura 4. Especies más frecuentes en los agroecosistemas de café en La Revolución, Tila, Chiapas.



soursop (*Annona muricata* L.) and chanthe (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp.) are used in five to six different ways, while most of the other species fulfill between three and four functions.

Figure 5 illustrates the various combinations of uses associated with the plant species. For instance, those with six potential uses account for approximately 45 %, while species used specifically for both food and shade make up 7 %.

The reported species and their various uses are essential components of the studied agroecosystems and hold significant socioeconomic and cultural value for coffee cultivation in the state of Chiapas (Moguel & Toledo, 1996; Sistema Producto Café, 2012). Shade-grown coffee systems often contribute to microclimate regulation (Manson et al., 2028), thanks to the mix of species typically found in these plots—most commonly timber, fruit, and ornamental trees. In many cases, the diversity of cultivated and managed species reflects local strategies developed by smallholder families, not only to conserve and protect native varieties and species, but also because these biodiverse plots serve as sources of food and income. In line with this, a study by Beltrán

agroecosistemas de café no solo representan una fuente de ingresos para la familia, sino que también son considerados como espacios que proporcionan servicios ecosistémicos, siendo los más relevantes los ambientales y de aprovisionamiento.

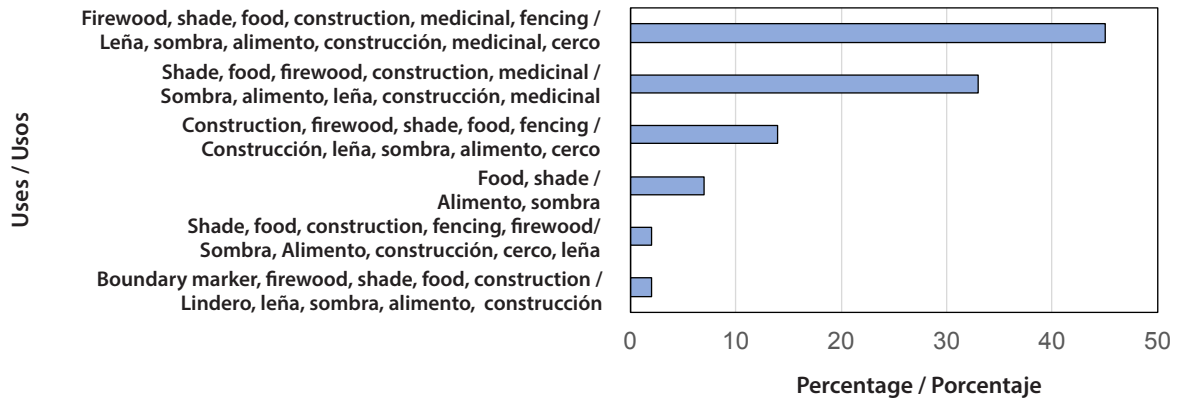
En estos agroecosistemas, se encontró que más de la mitad (36) de las especies identificadas en los cafetales, tienen al menos 3 usos comunes, que pueden ser: sombra, leña, alimento, construcción, cerco, lindero o medicina. Especies como la guanábana (*Annona muricata* L.) y el chanthe (*Gliricidia sepium* (Jacquin.) Kunth ex Walpers) se utilizan entre cinco y seis formas diferentes, mientras que las otras especies pueden tener entre tres y cuatro usos.

La Figura 5 muestra las diversas combinaciones de usos que pueden tener las especies. Por ejemplo, las que tienen seis usos potenciales constituyen aproximadamente el 45 %, mientras que las especies empleadas para alimento y sombra representan el 7 %.

Las especies reportadas y sus modalidades de uso son elementos esenciales de los agroecosistemas estudiados y poseen relevancia socioeconómica y cultural para los cafetales del Estado de Chiapas (Moguel & Toledo, 1996; Sistema Producto Café, 2012). Los cafetales bajo sombra suelen contribuir a la regulación

Figure 5. Uses of plant species present in the coffee agroecosystems of Tila, Chiapas.

Figura 5. Uso de especies vegetales presentes en los agroecosistemas de café, Tila, Chiapas.



(2022) in the state of Veracruz highlighted the role of shade-grown coffee systems as providers of environmental services, sources of diversified income, and spaces that foster ecological interactions.

Agroecological indicators in coffee agroecosystems

Agroecological indicators are tools that facilitate the assessment and interpretation of an agroecosystem's condition. They help determine the extent to which agroecological principles are being applied and identify aspects that require improvement. These indicators operate on a three-level scale (1, 5, 10), where the desirable level (10) indicates that such principles are being actively promoted or supported through management practices.

Figure 6 summarizes the agroecological indicators evaluated in the coffee agroecosystems. Indicators with values close to one—representing 11 % of the total—are considered to be in an undesirable condition from an agroecological perspective, indicating characteristics that could be improved through technical interventions. The indicators at this level are current yield and biological activity. This suggests that reported yields are generally low compared to the system's potential. Regarding biological activity, field sampling revealed the absence of macrofauna, such as earthworms and other invertebrates, including insects and spiders.

Indicators with values near five—representing an intermediate condition—make up 5 % of the total. At this level, the “weed competition” indicator was iden-

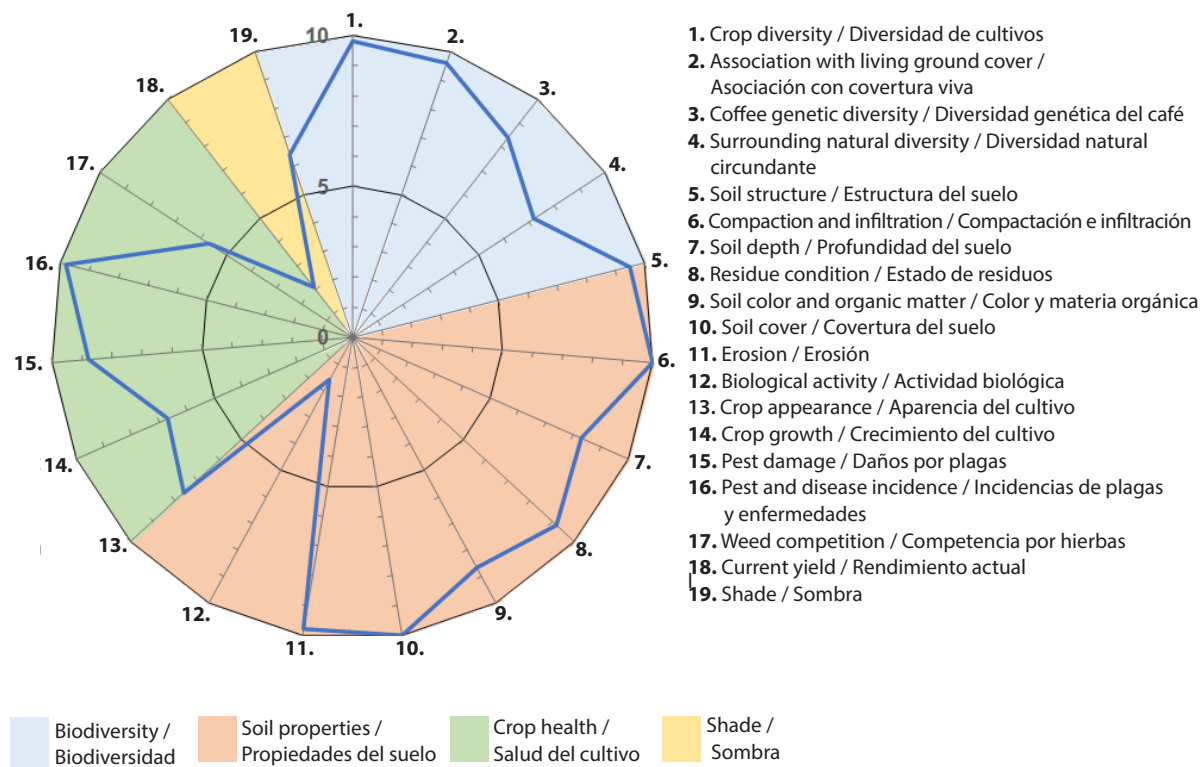
de los microclimas (Manson et al., 2028) gracias a la combinación de especies, que generalmente incluye maderables, frutales y ornamentales. En ocasiones, la diversidad de especies cultivadas y fomentadas en los cafetales es parte de las estrategias locales de las familias campesinas, no solo para conservar y resguardar variedades y especies nativas, sino que estas parcelas biodiversas suelen ser fuentes de ingreso y de alimentos para las familias. Con relación a esto, una investigación realizada por Beltrán (2022) en el Estado de Veracruz, subrayó la contribución de los cafetales bajo sombra al ser proveedores de servicios ambientales, fuentes de ingresos diversificados y espacio de interacciones ecológicas.

Indicadores agroecológicos de los agroecosistemas de café

Los indicadores agroecológicos son instrumentos que facilitan el diagnóstico y la interpretación del estado de un agroecosistema, y para determinar el nivel de aplicación de los principios agroecológicos e identificar las propiedades que requieren mejoras. Los indicadores tienen tres niveles o escalas (1, 5, 10), el nivel deseable (10) señala que los principios agroecológicos son promovidos o favorecidos por las prácticas de manejo del agroecosistema.

La Figura 6 sintetiza los indicadores agroecológicos evaluados en los agroecosistemas de café. Los indicadores que presentan valores cercanos a uno representan el 11 % del total, se encuentran en una condición no deseable desde la perspectiva agroecológica, lo que significa que poseen características

Figure 6. Agroecological indicators in coffee agroecosystems, La Revolución, Tila, Chiapas.
Figura 6. Indicadores agroecológicos de agroecosistemas de café, La Revolución, Tila, Chiapas.



tified, indicating that weed presence does not pose a significant competitive threat to coffee plants under current management practices.

The remaining 84 % corresponds to indicators classified as being in a desirable condition from an agroecological perspective. This suggests that current coffee plantation management practices support favorable soil properties, crop health, and biodiversity. Figures 7, 8, 9, and 10 illustrate the distribution of indicator levels across the evaluated agroecosystems.

Biodiversity

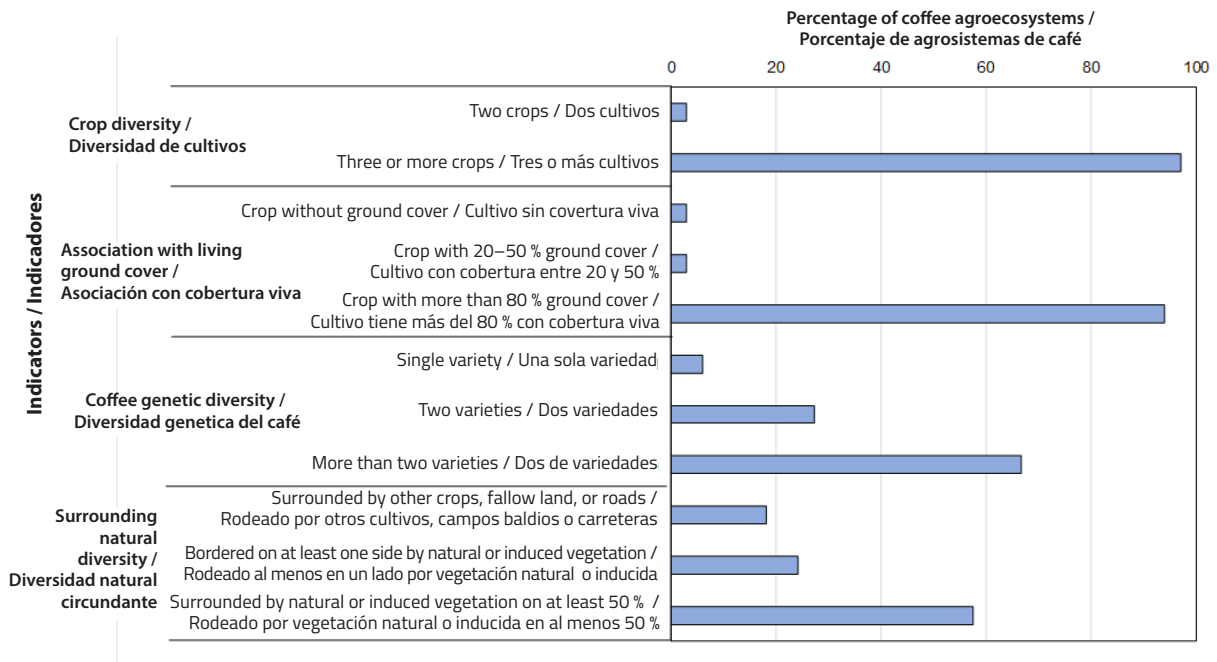
Plant biodiversity within coffee agroecosystems (Figure 7) is a fundamental component of their structure. Farming families promote diversification by cultivating a range of crops and encouraging the growth of local species. This approach has contributed to biodiversity indicators reaching desirable levels in these systems. As previously mentioned, families reported the presence of up to 60 plant species

o propiedades susceptibles de mejora mediante intervenciones técnicas. Los indicadores presentes en este nivel son rendimiento actual y la actividad biológica. Esto sugiere que los rendimientos reportados, suelen ser bajos en comparación con el potencial que se puede lograr. La actividad biológica mostró que en los muestreos de campo no se detectó la presencia de macrofauna como lombrices, invertebrados, insectos, arañas, entre otros.

Los indicadores cercanos al cinco, valor intermedio, constituyen el 5 %; en esta condición se encontró el indicador competencia por hierbas. Esto sugiere que la presencia de hierbas no genera factores de competencia con el café.

El 84 % restante se refiere a indicadores que están en una situación deseable desde un enfoque agroecológico. Esto indica que las prácticas de manejo de los cafetales favorecen las propiedades del suelo, la salud del cultivo y la biodiversidad. En las figuras 7, 8, 9 y 10 se ilustra la proporción que mostró cada uno de los niveles de los indicadores.

Figure 7. Agroecological biodiversity indicators in coffee agroecosystems, La Revolución, Tila, Chiapas
Figura 7. Indicadores agroecológicos de biodiversidad de agroecosistemas de café, La Revolución, Tila, Chiapas



on their plots. More than 90 % of coffee plantations include at least three crop species, which may feature fruit trees such as pineapple and banana, along with annual crops like maize, beans, squash, sweet potato, chayote, and chaya, among others. Around 60 % of producers cultivate more than three coffee varieties, with *Catimor* and *Oro Azteca* being the most preferred. Other notable features include extensive living ground cover—exceeding 80 %—and surrounding natural vegetation, with at least 50 % of the coffee area containing native plant cover. These agroforestry system characteristics play a key role in preserving and promoting local biodiversity. They foster synergies among system components that enhance ecosystem services such as nutrient cycling, water regulation, and microclimate stabilization, creating favorable conditions for the long-term sustainability of coffee plantations (Deheuvels et al., 2014; Jha et al., 2014; Vignola et al., 2015; Villarreyna et al., 2020).

Soil Properties

Figure 8 presents the eight indicators related to soil properties. The indicators for soil structure, compaction, residue condition, color, organic matter, ground

Biodiversidad

La biodiversidad vegetal de los agroecosistemas de café (Figura 7), es uno de los elementos fundamentales de su composición. Las familias promueven esquemas de diversificación mediante plantas cultivadas y el fomento de especies locales. Esto contribuyó a que los indicadores de biodiversidad presentaran niveles deseados en estos sistemas. Como se mencionó anteriormente, las familias reportaron la presencia de hasta 60 especies vegetales en sus predios. Más del 90 % de los cafetales tienen al menos tres cultivos, que pueden incluir árboles frutales como la piña o el plátano y cultivos anuales como maíz, frijol, calabaza, camote, chayote, chaya, entre otros. Alrededor del 60 % cultiva más de tres variedades de café, destacando la preferencia por *Catimor* y *Oro Azteca*. Otros aspectos relevantes son la sobresaliente presencia de cobertura viva que supera el 80 % y la diversidad natural circundante, siendo característico que al menos en el 50 % del cafetal hay presencia de vegetación. Las propiedades de estos sistemas agroforestales son factores que contribuyen a preservar y promover la biodiversidad local. Se fomentan sinergias entre los elementos que benefician los servicios ecosistémicos como el reciclaje de nutrientes, el ciclo

cover, and erosion were all found to be at desirable levels in the coffee agroecosystems studied. These results are closely linked to the management practices implemented by smallholder families, particularly the promotion of biodiversity—a common and intentional strategy. Leaf litter, along with pruning and weed residues, is retained on the plots, contributing to ground cover composed of plant debris in various stages of decomposition. These materials serve as a potential source of organic matter for the soil. In addition to increasing organic matter content, this practice improves the soil's capacity for water infiltration and retention—both essential components of the watershed hydrological cycle (Baumann & González, 2000). Furthermore, it has been documented that several tree species in these systems develop deep root systems, which enhance nutrient recycling and make nutrients more readily available to coffee plants and other crops in the system (Harmand et al., 2010). However, no macrofauna was observed in the soil during field sampling. To better assess this indicator, periodic sampling is recommended, particularly given the otherwise favorable soil conditions. Shade-grown coffee systems have been shown to support the presence of earthworms, a trend associated with high organic matter levels and improved moisture retention (Villarreyna et al., 2020). With regard to soil depth, it is worth noting that 67 % of the evaluated plots have depths greater than 30 cm, favoring adequate root development in coffee plants. In contrast, 33 % of the plots were characterized by shallow soils, with depths ranging between 10 and 30 cm.

Soil properties benefit from the management practices implemented by coffee-growing families, as evidenced by agroecological indicators that register at optimal or high-performance levels.

Crop Health

Crop health was assessed using six indicators (Figure 9). Those related to phytosanitary conditions revealed a low or nonexistent presence of pests and diseases. Although producers acknowledged the occurrence of health issues in their coffee plots, field sampling revealed little to no pest incidence. In most cases, the crop displayed deep green foliage; however, it is noteworthy that slightly more than

del agua, la regulación del microclima, creando un ambiente propicio para la sostenibilidad de los cafetales (Deheuvels et al., 2014; Jha et al., 2014; Vignola et al., 2015; Viallarreyna et al., 2020).

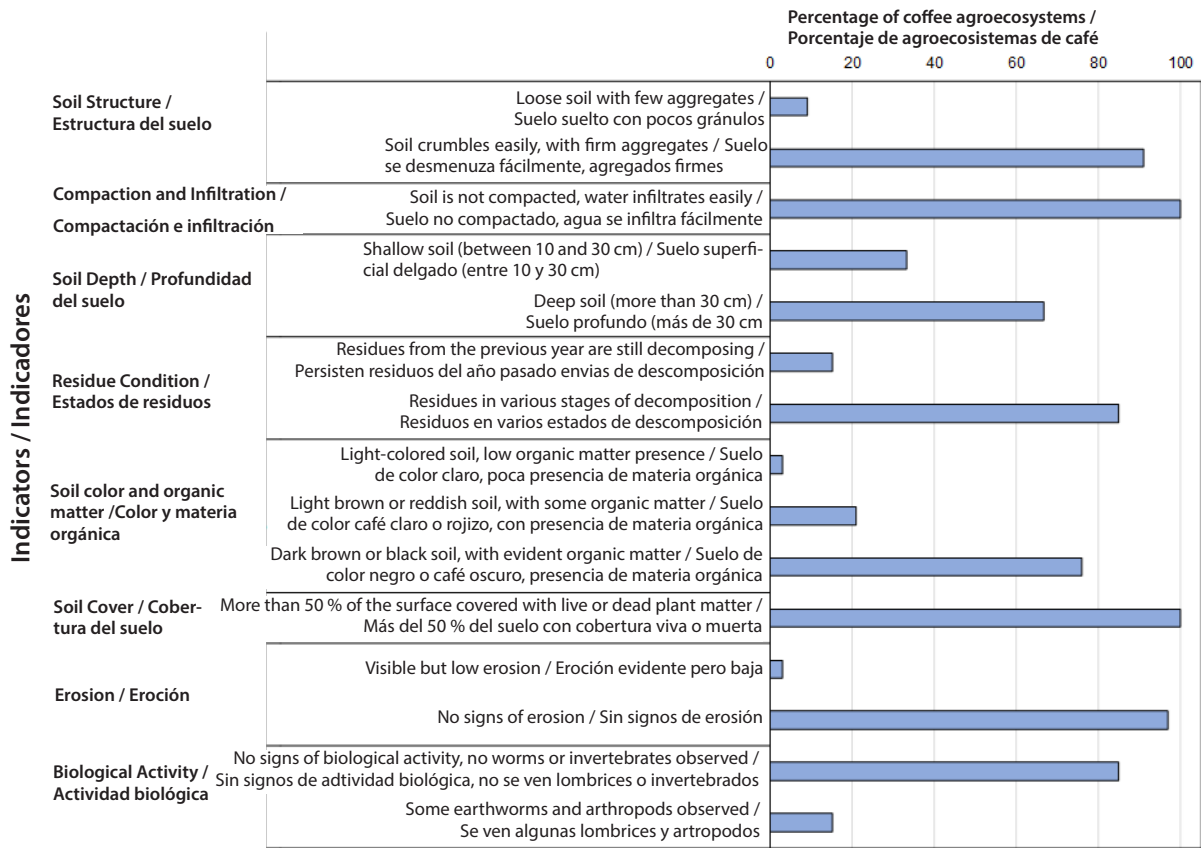
Propiedades del suelo

En la Figura 8 se presentan los ocho indicadores de las propiedades del suelo. Los indicadores de estructura, compactación, estado de residuos, color y materia orgánica, cobertura y erosión en los cafetales estudiados se encuentran en niveles deseables. Estos indicadores están relacionados al tipo de manejo que realizan las familias campesinas, donde se resalta el fomento de la biodiversidad, una práctica común. La hojarasca, así como los residuos de podas y de hierbas, se conservan en las parcelas, lo que favorece la presencia de coberturas de residuos vegetales en diferentes grados de descomposición, las cuales son potencialmente una fuente de materia orgánica para el suelo. Además de incrementar los niveles de materia orgánica en los cafetales, también mejora la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua, siendo esenciales en el ciclo hidrológico de las cuencas (Baumann & González, 2000). Por otra parte, se ha documentado que varias especies de árboles cuentan con sistemas radiculares profundos, lo que favorece el reciclaje de nutrientes y su disponibilidad a los componentes del cafetal (Harmand et al., 2010). Sin embargo, durante el muestreo de campo no se observó la presencia de macrofauna en el suelo. Es recomendable realizar muestreos periódicos para verificar este indicador y obtener una aproximación más precisa, ya que los indicadores exhibieron buenas propiedades del suelo. Se ha determinado que en los cafetales bajo sombra se favorece la aparición de lombrices, lo que está asociado a la presencia de materia orgánica y la capacidad de retención de humedad (Villarreyna et al., 2020). Con relación al indicador de profundidad de suelo, es importante señalar que el 67 % de las unidades evaluadas tienen profundidades superiores a 30 cm, lo que favorece el potencial para un adecuado desarrollo radicular de los cultivares; un 33 % mostró suelos poco profundos, con una profundidad que varía entre 10 y 30 cm.

Las propiedades del suelo se ven favorecidas por las prácticas de manejo que llevan a cabo las familias cafetaleras, esto se evidencia a través de los indica-

Figure 8. Agroecological indicators of soil properties in coffee agroecosystems, La Revolución, Tila, Chiapas

Figura 8. Indicadores agroecológicos de propiedades del suelo de agroecosistemas de café, La Revolución, Tila, Chiapas.



40 % of the plots exhibited pale foliage. Regarding crop growth, the majority (55 %) showed dense but uneven foliage, with thin stems and leaves. It is important to note that coffee-growing families do not implement nutrient management practices—no additional organic inputs (such as compost or manure) or fertilizers are applied. To produce one ton of coffee cherries per hectare, an estimated 31 kg N·ha⁻¹, 2 kg P·ha⁻¹, and 37 kg K·ha⁻¹ are required (Sadeghian-Khalajabadi et al., 2006). In this context, nutrient supply relies entirely on the soil, underscoring the need for soil analyses to determine whether it can meet the crop's nutritional requirements.

The weed competition indicator showed that 36 % of coffee plots had low weed presence, while the remaining plots exhibited medium to high levels. Although weeding is typically performed at least three times a year, some families do not carry out this practice regularly due to various constraints, as pre-

dores agroecológicos que se encuentran en niveles idóneos o sobresalientes.

Salud del cultivo

La salud del cultivo abarcó seis indicadores (Figura 9). Los indicadores relacionados a problemas fitosanitarios presentaron baja o nula presencia de plagas y enfermedades. Si bien, los productores mencionaron los problemas sanitarios que se presentan en el cafetal, durante el muestreo, se observó baja o nula presencia de plagas. La apariencia del cultivo, en la mayoría de los casos, mostró un follaje verde intenso, sin embargo, es notable que en poco más del 40 % de los casos, hubo follaje claro. El crecimiento del cultivo, en la mayoría de los casos (55 %), presentó un follaje denso, aunque no homogéneo, con tallos y hojas delgadas. Es relevante señalar que las familias productoras no llevan a cabo prácticas dirigidas a la nutrición del cafetal, es decir, no se aplican fuentes

viously mentioned. Weed presence significantly affects coffee yields—studies have documented that, on average, yields can decrease by up to 50 % in the absence of weed control. This highlights the importance of implementing effective weed management strategies.

Reported coffee yields were 73 % lower than the regional average. Several factors may contribute to this low productivity, one of which is the wide variation in planting density, ranging from 2,133 to 5,333 plants·ha⁻¹. Planting density is a key determinant of coffee yield. In agroforestry coffee systems, it is essential to define optimal plant spacing that maximizes yield under the edaphoclimatic conditions specific to each region (Farfán, 2010). Planting density should be managed according to the phenotypic traits of each variety, soil characteristics, and the nutritional requirements of the crop. These findings highlight the need for more in-depth research to determine the most appropriate planting densities for local conditions.

Another factor potentially contributing to low coffee productivity is the absence of nutrient management in the plantations, where the only nutrient inputs come from organic residues generated by coffee plants and shade trees. Although studies have shown that shade-grown coffee agroecosystems typically have high organic matter content, soil properties such as pH and cation exchange capacity (CEC) influence microbial activity and mineralization processes, which in turn affect nutrient availability for the crop (López et al., 2016). Conducting soil fertility analyses is therefore recommended to provide a stronger foundation for designing a targeted nutrient management strategy for coffee systems.

Shade Management in Coffee Plantations

Shade management is a key practice in coffee cultivation. Figure 10 shows the shade levels recorded in the studied coffee agroecosystems. Sixty-six percent of the plots exhibited shade levels between 40 % and 60 %, which are considered optimal. A small proportion (3 %) had shade levels below 40 %, while roughly one-third of the plots exceeded 60 %. High shade levels can lead to phytosanitary problems and increased competition for light, water, and nutrients—factors that significantly impact coffee productivity

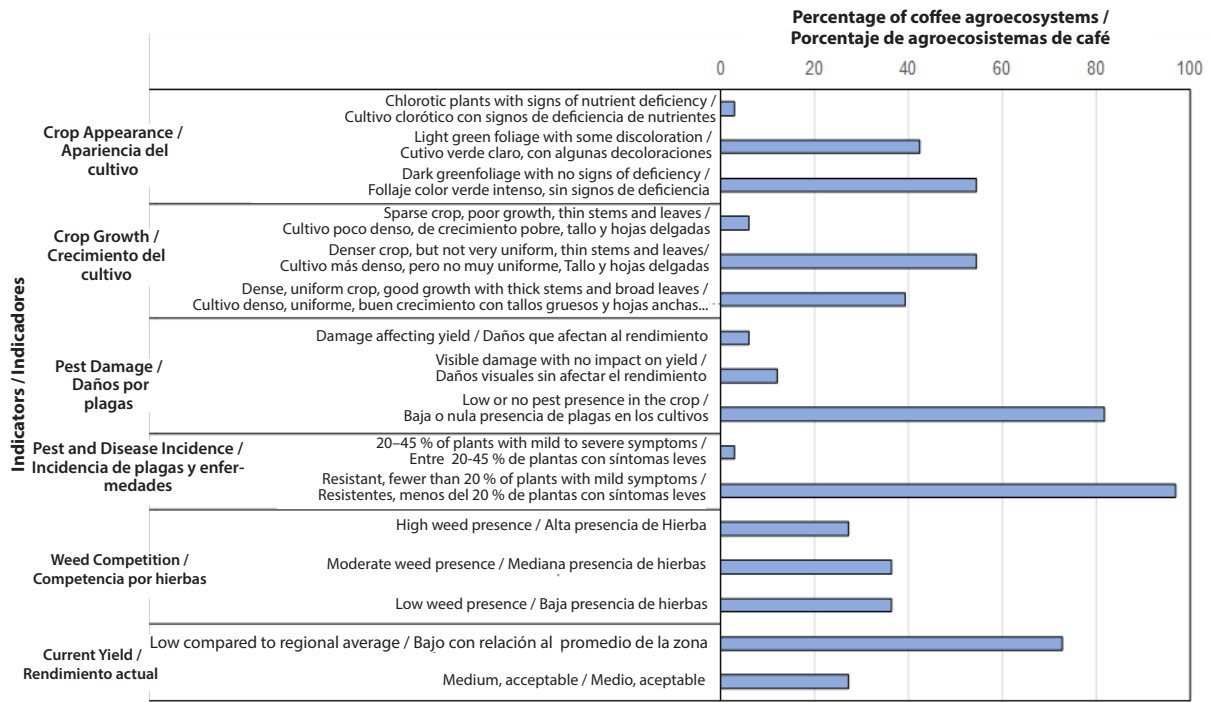
orgánicas adicionales (compost, estiércol, etc.) ni fertilizante. Para producir una tonelada de frutos de café por hectárea se requieren 31 kg N·ha⁻¹, 2 kg P·ha⁻¹ y 37 kg K·ha⁻¹ (Sadeghian-Khalajabadi et al., 2006), cantidades que, en este caso, deben estar provistas por el suelo. En este contexto, es importante realizar análisis de suelo para determinar si éste proporciona esta cantidad de nutrientes.

El indicador de competencia por hierbas indica que un 36 % de los cafetales tienen escasa presencia de hierbas, mientras que el resto presenta niveles altos y medianos de presencia. Aunque el deshierbe se realiza al menos tres veces al año, algunas familias no la llevan a cabo por distintas razones, como se mencionó anteriormente. La presencia de hierbas impacta de forma considerable el rendimiento del café. Se ha documentado que el rendimiento puede disminuir en un 50 %, en promedio, sin manejar hierbas, lo que resalta la importancia del manejo de estas plantas.

El rendimiento de café reportado es 73 % inferior en comparación con la producción de la región. Varios factores pueden estar asociados con esta baja productividad, entre los cuales se encuentra la amplia variación en la densidad de población (2 133 y 5 333 plantas·ha⁻¹). La densidad de población es uno de los factores que determina la producción de café. En los sistemas agroforestales de café, es necesario determinar la distancia adecuada entre plantas que posibilite obtener el máximo rendimiento de café bajo las condiciones edafoclimáticas de cada región (Farfán, 2010). La densidad de población debe ser gestionada de acuerdo con las características fenotípicas de cada variedad, las condiciones edafológicas y las necesidades nutricionales de la variedad. Esto sugiere, la necesidad de realizar estudios más profundos para determinar la densidad de población adecuada a las condiciones locales.

Otro factor que puede estar asociado a la producción de café es la ausencia de manejo nutricional en los cafetales, donde la única fuente de nutrientes proviene de residuos orgánicos generados por las plantas de café y los árboles en las parcelas. Otros estudios han demostrado que en agroecosistemas de café bajo sombra se caracterizan por sus altos contenidos de materia orgánica, sin embargo, propiedades como el pH y la CIC influyen en la activi-

Figure 9. Agroecological indicators of crop health in coffee agroecosystems, La Revolución, Tila, Chiapas
 Figura 9. Indicadores agroecológicos de salud del cultivo de agroecosistemas de café, La Revolución, Tila, Chiapas.



(Zuidema et al., 2005; Villarreyna et al., 2020). In agroforestry systems, shade provided by different vegetation strata has multiple implications for coffee cultivation. One such implication is the need for labor to maintain shade levels that do not compromise productivity or increase competition (Villarreyna, 2016). Although over 60 % of the coffee plantations maintain appropriate shade levels, respondents indicated that they are facing labor shortages for maintaining their plots. This suggests a trend toward simplified management, which may threaten the long-term productivity of coffee systems.

Conclusions

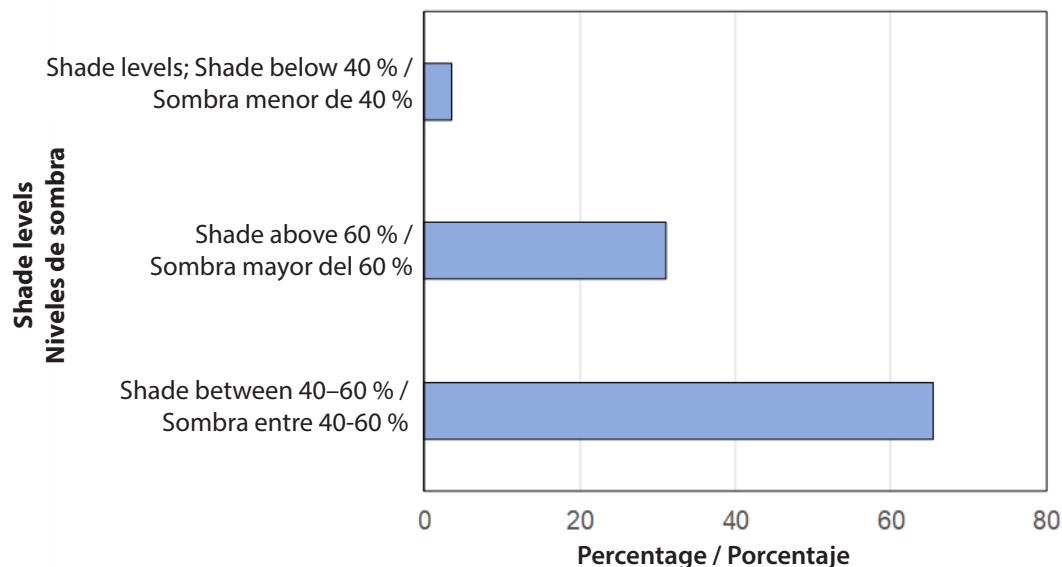
Coffee cultivation holds significant economic, social, ecological, and cultural importance for Indigenous *Ch'ol* smallholder families in La Revolución, Tila, Chiapas. These families manage coffee through agroforestry systems that provide a range of benefits, including food, medicine, firewood, and construction materials. By applying a variety of traditional management practices, they maintain their coffee agroecosystems. However, these systems are marked by low productivity, largely due to suboptimal planting

microbiana y en los procesos de mineralización, lo que puede afectar la disponibilidad de nutrientes para el café (López et al., 2016). Se sugiere llevar a cabo análisis de fertilidad del suelo para tener más elementos para establecer un plan de manejo nutricional del cafetal.

Sombra en los cafetales

El manejo de la sombra es una práctica fundamental en los cafetales. La Figura 10 muestra los niveles encontrados en los agroecosistemas de café estudiados. El 66 % de los cafetales presentan entre 40 y 60 % de sombra, valores que son considerados como nivel adecuado. Un pequeño porcentaje (3 %) tiene un nivel de sombra inferior al 40 %, mientras que alrededor de un tercio presenta valores superiores al 60 %. Los niveles altos de sombra provocan problemas fitosanitarios y factores de competencia (luz, agua, nutrientes) lo que impacta de manera significativa la productividad del cafetal (Zuidema et al., 2005; Villarreyna et al., 2020). En los sistemas agroforestales la sombra producida por los diferentes estratos de vegetación tiene diversas implicaciones en el cafetal. Una de ellas es la necesidad de mano de obra

Figure 10. Shade levels in coffee agroecosystems, La Revolución, Tila, Chiapas
Figura 10. Niveles de sombra de agroecosistemas de café, La Revolución, Tila, Chiapas.



densities, weed competition, and limited nutrient management. Addressing these constraints offers an opportunity to improve yields and promote the long-term sustainability of coffee agroecosystems.

The analysis of coffee plots using agroecological indicators—related to soil properties, biodiversity, and crop health—revealed management practices that promote agroecological processes, enhancing the sustainability and resilience of these systems.

Agroecological indicators proved to be an effective tool for evaluating coffee agroecosystems. They help identify areas requiring improvement and inform the implementation of targeted actions aimed at achieving healthy, vigorous, productive, and sustainable coffee cultivation. However, their successful application will depend on the specific social, economic, and environmental conditions of each household.

End of English version

References / Referencias

Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ). (2019). Guía de variedades de café Guatemala. Segunda edición ANACAFE, 48 p. <https://www.anacafe.org/uploads/file/9a4f9434577a433aad6c123d321e25f9/Gu%C3%ADa-de-variedades->

para mantener niveles de sombra que no afecten la productividad del cafetal y evitar posibles efectos de competencia (Villarreyna, 2016). Si bien, más del 60 % de los cafetales tienen niveles adecuados de sombra, las personas encuestadas señalaron que están enfrentando dificultades relacionadas con la escasez de mano de obra para el mantenimiento de sus cafetales, lo que sugiere que se está simplificando su manejo, un panorama que pone en riesgo la producción del café.

Conclusiones

El cultivo de café tiene una gran relevancia económica, social, ecológica y cultural para las familias indígenas choles, minifundistas en la localidad de la Revolución, Tila, Chiapas. Estas familias cultivan el café mediante sistemas agroforestales, lo que les proporciona beneficios relacionados con la alimentación, medicina, energía (leña), construcción, entre otros. Las familias implementan diversas prácticas comunes que les permiten gestionar los agroecosistemas cafetaleros. Estos se caracterizan por su bajo rendimiento asociado a la densidad de población, la presencia de hierbas y escaso manejo nutricional. Abordar estas limitaciones representa una oportunidad para impulsar transformaciones en los agroecosistemas de café.

Anacaf%C3%A9.pdf

Baumann, J., & González, S. (2000). Plan de conservación de suelos y agua para la costa de Chiapas. México: Comisión Nacional del Agua y Centro para Migración y Desarrollo Internacional, CNA – CIM. 141 pp.

Barham, B. L., Callenes, M., Gitter, S., Lewis, J., & Weber, J. (2011). Fair trade/organic coffee, rural livelihoods, and the “agrarian question”: Southern Mexican coffee families in transition. *World Development*, 39(1), 134-145.

Beltrán Vargas, H. J. (2022). Certificación participativa del cafetal comestible de la organización vinculación y desarrollo agroecológico en café (VIDA AC). [Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados].

Centro de Investigación en Geografía y Geomática. (2016). Condiciones socioeconómicas de la región fronteriza Chiapas-Tabasco. Centro de Investigación en Geografía y Geomática, Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural & Gobierno de Chiapas, México. 150p <http://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1012/218>

Centro de Investigaciones en Café (CEDICAFÉ). (2015). Recomendaciones y consideraciones para la renovación exitosa de una plantación. *Boletín Técnico febrero 2015 –ANACAFÉ*. 14 p. <https://www.anacafe.org/uploads/file/12c78feb8c28400bbf17b975b727f8b5/20-manejo-tejido-productivo.pdf>

Contreras Medina, D. I. Sánchez Osorio, E., & Pardo Núñez, J. (2023). Producción y aprovechamiento del café. Prospección sistémica de la cadena de valor en los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero. México, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. Juan Pablos Editor https://www.researchgate.net/publication/373485076_Produccion_y_aprovechamiento_del_cafe

Chain-Guadarrama, A., Martínez-Salinas, A., Aristizábal, N., & Ricketts, T. H. (2019). Ecosystem services by birds and bees to coffee in a changing climate: A review of coffee berry borer control and pollination. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 280, 53–67. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.011>

Dehevels, O., Rousseau, G. X., Soto Quiroga, G., Decker Franco, M., Cerda, R., Vílchez Mendoza, S. J., & Somarriba, E. (2014). Biodiversity is affected by changes in management intensity of cocoa-based agroforests. *Agroforestry Systems*, 88(6), 1081–1099. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9710-9>

du Toit, J. (2015). Research design. En Silva, E. A., Healey, P., Harris, N., & Van den Broeck, P. (Eds.), *The Routledge handbook of planning research methods* (pp. 61-73). London: Routledge.

Escamilla Prado, E., Ruiz Rosado, O., Díaz Padilla, G., Landeros-Sánchez, C., Platas Rosado, D., Zamarripa Colmenero, A., & González Hernández, V. (2005). El agroecosistema café orgáni-

El análisis de los cafetales mediante indicadores agroecológicos relacionados a las propiedades del suelo, biodiversidad y salud de cultivo mostró que existen prácticas que favorecen procesos agroecológicos que otorgan sostenibilidad y resiliencia.

Los indicadores agroecológicos facilitaron la evaluación de los agroecosistemas de café. Constituyen una herramienta útil para identificar las áreas que requieren mejoras y definir acciones con el propósito de lograr un cultivo saludable, vigoroso, productivo y sostenible a largo plazo. Su implementación dependerá de las determinantes sociales, económicas y ambientales de cada unidad familiar.

Fin de la versión en español

co en México. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* (Costa Rica), 76, 5–16. https://www.researchgate.net/publication/260080032_El_agroecosistema_cafe_organico_en_Mexico

Escamilla Prado, E.; Ruiz Rosado, O.; Zamarripa Colmenero, A.; González Hernández, V. A. (2015) Calidad en variedades de café orgánico en tres regiones de México. *Revista de Geografía Agrícola*, 55, 45-55.

Escamilla Prado, E. (2016). Las variedades de café en México ante el desafío de la roya. *Breves de Políticas Públicas, Boletín Informativo, Programa Mexicano del Carbono*. 10 p.

Escamilla Prado, E., Tinoco Rueda, J. Á., Alberto Pérez Villatoro, H., Aguilar Calvo, Á. de J., Sánchez Hernández, R., & Ayala Montejo, D. (2021). Transformación socio ecológica en el agroecosistema café afectado por roya en Chiapas, México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 44(4), 643–653. <https://revistafitotecnica-mexicana.org/documentos/44-4/18a.pdf>

Farfán, V. F. (2010). Café orgánico al sol y bajo sombrío. Una doble posibilidad para la zona cafetera de Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 399, 2-8.

Farfán, V. F. (2015). Instrumentos para estimar el porcentaje de sombra en el cafetal. *Boletín Técnico Cenicafé*, 39. Recuperado de: <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/591/1/039.pdf>

Fletes Ocón, H. B., & Hernández Méndez, C. C. (2023). Pluriactividad y reproducción social en localidades rurales de Ocosingo, Chiapas. *Horizontes Territoriales*, 3(6), 1–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.31644/HT.03.06.2023.A31>

Harmand, J. M.; Ávila, R. H.; Oliver, Saint-André, L., & Dambrine, E. (2010). The impact of kaolinite and oxi-hydroxides on ni-

- trate adsorption in deep layers of a Costarican Acrisol under coffee cultivation. *Geoderma*, 158,216-224. doi:10.1016/j.geoderma.2010.04.032.
- Harvey, C. A., Pritts, A. A., Zwetsloot, M. J., Jansen, K., Pulleman, M. M., Armbrecht, I., Avelino, J., Barrera, J. F., Bunn, C., Hoyos García, J., Isaza, C., Munoz-Ucros, J., Pérez-Alemán, C. J., Rahn, E., Robiglio, V., Somarriba, E., & Valencia, V. (2021). Transformation of coffee-growing landscapes across Latin America. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41–62. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13593-021-00712-0>
- Henderson, Thomas P. (2019). La roya y el futuro del café en Chiapas. *Revista mexicana de sociología*, 81(2), 389-416. Recuperado en 16 de julio de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-25032019000200389&lng=es&tlng=es.
- Hernández-Ayón J. M.; Bolaños-González Martín A.; Norzagaray-López C. O.; Coronado-Álvarez L. de L. A., & Ibarra-Alonso P. (2023). Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México. Síntesis a 2023. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Texcoco, Estado de México. México. ISBN 2954-4882. 326 p.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.
- Higuera Ciapara, I., & Rivera Ramírez, J. (2018). Problemáticas del sector cafetalero de Chiapas. Guadalajara, México: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), Año de edición: 2018, 72p.
- Instituto del Café de Chiapas (INCAFECH). (2022). Programa Operativo Anual 2022. <https://incafech.gob.mx/assets/media/documentos/planeacion/POA%202022%20scan.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010 Tila Chiapas. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/07/07096.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Anuario estadístico y geográfico de Chiapas 2017. INEGI, México, 736 p.
- Jha, S., Bacon, C. M., Philpott, S. M., Méndez, E. V., Läderach, P., & Rice R. A. (2014). Shade coffee: Update on a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience*, 64(5), 416–428. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu038>.
- López Báez, W., Castro Mendoza, I., Salinas Cruz, E., Reynoso Santos, R., & López Martínez, J. (2016). Propiedades de los suelos cafetaleros en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(3), 607-618. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000300607&lng=es&tlng=es.
- Manson, R. H.; López Barrera, F.; Sosa Fernández, V., & Ortega Pieck, A. (2018). Biodiversidad y otros servicios ambientales en cafetales (1era ed.). Ciudad de México: Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO). ISBN: 978-607-8570-11-9 74 p.
- Medina-Meléndez, J. A., Ruiz-Nájera, R. E., Gómez-Castañeda, J. C., Sánchez-Yáñez, J. M., Gómez-Alfaro, G., & Pinto-Molina, O. (2016). Estudio del sistema de producción de café (*Coffea arabica* L.) en la región Frailesca, Chiapas. *CienciaUAT*, 10(2), 33–43. <https://www.scielo.org.mx/pdf/cuat/v10n2/2007-7858-cuat-10-02-00033.pdf>
- Moguel, P., & Toledo, V. V. (1996). El Café en México, ecología, cultura indígena y Sustentabilidad. *Ciencias*, 43, 40–51. <https://www.revistacienciasunam.com/pt/185-revistas/revista-ciencias-43/1749-el-caf%C3%A9-en-m%C3%A9xico-ecolog%C3%ADa,-cultura-ind%C3%ADgena-y-sustentabilidad.html>
- Montoya, D., & Toledo, V. M. (2020). Historia de la caficultura en Chiapas (1880-2010). *Apuntes de una evolución social y ambiental. Sociedad y Ambiente*, 23, 1–20. <https://doi.org/DOL:https://doi.org/10.31840/sya.vi23.2187>
- Morales-Reyes, E. I., & Adame-Martínez, S. (2021). Caracterización de los agroecosistemas de producción de café orgánico en cuatro municipios de Chiapas. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 18(1), 197–223. <https://doi.org/https://doi.org/10.22231/asyd.v18i2.768>
- Moscoso, J. N. (2017). Les méthodes mixtes en recherche en éducation : Vers une utilisation réflexive. *Cadernos de Pesquisa*, 47(164), 632–649. <https://doi.org/10.1590/198053143763>
- Muñoz González, R., & Mero Loo, A. K. (2020). El sector cafetalero a nivel mundial y sus principales determinantes socioeconómicos. *Revista Cubana de Ciencias Económicas*, 6(2), 27–41. <https://orcid.org/0000-0002-7635-3932>
- Núñez Medina, G. (2017). Análisis espacial del analfabetismo en municipios de Chiapas. *Revista Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 6(13), 78–99. <https://doi.org/10.31644/IMASD.13.2017.a05>
- Ocampo Guzmán, M. G., Fletes Ocón, H. B., Sifuentes Ocegueda, E. L., & Silva Sandes, E. (2022). Teorías y escalas del desarrollo territorial: un acercamiento desde la heterogeneidad. México: Comunicación Científica. México <https://doi.org/10.52501/cc.028>
- Ruelas-Monjardín, L. C., Nava-Tablada, M. E., Cervantes, J., & Barradas, V. L. (2014). Importancia ambiental de los agroecosis-

- temas cafetaleros bajo sombra en la zona central montañosa del estado de Veracruz, México. *Madera y Bosques*, 20(3), 27–40. <https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/149/200>
- Sadeghian-Khalajabadi, S., Mejía-Muñoz, B., & Arcila-Pulgarín, J. (2006). Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. *CENICAFÉ*, 57, 251–261.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2022). Cultivo de café en México. Consultado desde <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-de-cafe-en-mexico>
- Servicio de Información Agrícola y Pesquera (SIAP). (2023). Avance de siembras y cosechas 2022. México, <http://www.siap.gob.mx> (consultado en abril de 2023).
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). Avance de Siembras y Cosechas Café de México 2023. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
- Sistema Producto Café. (2012). Plan rector de la cafécultura de Chiapas. https://www.fec-chiapas.com.mx/sistema/biblioteca_digital/07plan-rector-de-la-cafeticultura-ultima-version.pdf
- TechnoServe, WCR, LWR, & ISF. (2021). ¿Cómo beneficia el manejo de tejidos la productividad de café? <https://mocca.org/wp-content/uploads/2021/08/manejo-de-tejidos-productividad-del-cafe%CC%81.pdf>
- TechnoServe Inc., WCR, LWR, & ISF. (2022). Un cafetal productivo tiene sombra que lo cuida. <https://mocca.org/wp-content/uploads/2022/12/MANUAL-Manejo-de-Sombra.pdf>
- Toledo, V. M., & Moguel, P. (2012). Coffee and Sustainability: The Multiple Values of Traditional Shaded Coffee. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36(3), 353–377. <https://doi.org/10.1080/10440046.2011.583719>
- Vargas Vencis, P. (2007). Mujeres cafetaleras y producción de café orgánico en Chiapas. *El Cotidiano*, 22(142), 74–83. <https://www.redalyc.org/pdf/325/32514209.pdf>
- Vázquez-López, P., Espinoza-Arellano, J. de J., González-Mancilla, A., & Guerrero-Ramos, L. A. (2022). Características de productores y plantaciones de café en la zona norte de Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 101–111.
- Venegas, C. V., Gómez, B. M., Infante, A. L., & Venegas, R. V. (2018). Manuales y cursos n°12 agroecológica para la agricultura familiar campesina (Issue 12, pp. 1–212). Unidad de Sustentabilidad Ambiental, INDAP. disponible en <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/32260>
- Vignola, R., Harvey, C. A., Bautista-Solis, P., Avelino, J., Rapidel, B., Donatti, C., & Martinez, R. (2015). Ecosystem-based adaptation for smallholder farmers: Definitions, opportunities and constraints. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 211, 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.05.013>
- Villa-Herrera Adán, Salvador-Castillo José M., Ramírez-Armas Luz M., & Bolaños González Martín A. (2023). Estimación de la huella de carbono de la cadena productiva de café orgánico bajo sombra. En M. J. Hernández Ayón, M. A. Bolaños González, O. C. Norzagaray López, L. de L. A. Coronado Álvarez, & Ibarra Alonso, P. (Eds.), *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2023* (pp. 313–319). Programa Mexicano del Carbono en colaboración y Universidad Autónoma de Baja California (UABC).
- Villarreyna, R., Avelino, J., & Cerda, R. (2020). Adaptación basada en ecosistemas: efecto de los árboles de sombra sobre servicios ecosistémicos en cafetales. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 499–516. <https://doi.org/10.15517/am.v31i2.37591>
- Villarreyna-Acuña, R. A., & Avelino, J. (2016). Efecto de la sombra sobre las plagas y enfermedades, a través del microclima, fenología y estado fisiológico del cafeto. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20347.72489>
- Zuidema, P. A., Leffelaar, P. A., Gerritsma, W., Mommer, L., & Anten, N. P. R. (2005). A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): Model presentation, validation and application. *Agricultural Systems*, 84(2), 195–225. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.06.015>



Neoliberal crisis and the regional expansion of Michoacán's berry agro-export sector

José Christian Hernández Robledo*
César Adrián Ramírez Miranda

Abstract

The configuration of Michoacán's regional agro-export berry industry has emerged as one of the most profitable arenas for capital accumulation, propelled by its international integration, effective labor control mechanisms, and low land rents. This expansion has unfolded amid deep poverty—particularly among Indigenous populations—an unprecedented surge in violence, and a complete absence of social resistance. This paper examines the historical trajectory of the industry-agriculture nexus and its role in shaping the region, from its origins in Mexico's developmentalist era of the 1940s—associated with the Fordist regime of accumulation—through the current phase of neoliberal crisis and transition, culminating in 2023. It aims to reveal the subordinate and multi-scalar nature of berry agro-exportation vis-à-vis dominant forms of agri-capital at the state, national, and transnational levels—primarily avocado and maize production—which are themselves embedded within the dynamics of industrial and financial capital. The systemic chaos generated by the neoliberal crisis, the emergence of new—albeit sporadic and cross-class—forms of peasant struggle, and the subordinate position of berry-industry capital in relation to dominant agri-capital are identified as the key determinants of its expansion in Michoacán over the past two decades.

Keywords: Accumulation, peasantry, land rent, subordination, class struggle.

Crisis neoliberal y expansión regional agroexportadora de frutillas michoacanas

Resumen

La configuración regional agroexportadora de frutillas michoacanas se colocó como uno de los espacios más rentables para la acumulación de capital por su articulación internacional, sus mecanismos efectivos de control de fuerza de trabajo y bajos niveles de renta de la tierra, acompañada de altos niveles de pobreza acentuados en la población indígena, un ascenso inusitado de la violencia y una nula resistencia social. En este artículo se expone el desarrollo histórico de la relación industria-agricultura y su impacto en la configuración de esta región, desde sus inicios en la etapa del desarrollismo en México (1940) correspondiente al régimen de acumulación fordista, hasta la fase de crisis y transición neoliberal (2023), con la finalidad de mostrar el carácter subordinado y multiescalar de la agroexportación de frutillas a los capitales agrícolas de punta estatales, nacionales e internacionales, principalmente el aguacate y el maíz, que a su vez dependen del comportamiento de los capitales industrial y financiero. El caos sistémico de la crisis neoliberal, las nuevas formas de lucha del campesinado, de carácter puntual e interclasista; y la condición subordinada del capital dedicado al negocio de las frutillas, son las determinantes identificadas para la expansión de este negocio en Michoacán durante dos décadas.

Palabras clave: Acumulación, campesinado, renta de la tierra, subordinación, lucha de clases.

Introduction

Berry production in Michoacán grew significantly from 2003 until the COVID-19 crisis (2020–2021). This expansion encompassed three key areas—known as the valleys of Zamora, Los Reyes, and Tacámbaro—comprising 14 municipalities¹ that, on average during the 2003–2023 period, accounted for a significant share of the national production value of blackberry (92 %), strawberry (46.5 %), blueberry (31.7 %), and raspberry (21.7 %) (SIAP, 2024).

This concentration of wealth—averaging MX\$7.9 billion annually from 12,800 hectares (SIAP, 2024)—and the high profit rates it generated stand in stark contrast to prevailing poverty levels, with at least 50 % of the total population and over 60 % of the Indigenous population living in poverty (CONEVAL, 2024). This has unfolded alongside a sustained rise in violence: from 14.6 homicides per 100,000 inhabitants in 2003 to 53 by the end of the period (INEGI, 2024). Moreover, the entire two-decade process of dispossession in multiple dimensions has faced no organized social resistance.

This paper aims to examine the historical context in which the regional configuration of Michoacán's export-oriented berry crops developed and the role these crops have played in successive phases of capital accumulation since the postwar period. It seeks to contribute to an understanding of the economic, political, and social dynamics that shaped this configuration by identifying the main patterns of accumulation in the countryside and the principal actors involved in the capital–labor contradiction.

We argue that the spatial configuration of accumulation through berry cultivation in Michoacán expanded during the neoliberal crisis and transition phase, driven by a group of subordinated capitals within the agro-export sector. These capitals, in turn, were subject to the broader dynamics of transnational industrial and financial capital.

This condition of subordination is explained by the sector's development under the accumulation patterns established by strawberry cultivation in the Zamora Valley—dominant among postwar agro-ex-

¹ These municipalities are Ario, Chilchota, Huiramba, Ixtlán, Jacona, Lagunillas, Los Reyes, Peribán, Salvador Escalante, Tacámbaro, Tangancícuaro, Tocumbo, Zamora, and Ziracuaretiro.

Introducción

La producción de frutillas en Michoacán aumentó significativamente a partir de 2003 y hasta la crisis provocada por la COVID-19 (2020–2021). Este incremento incluyó tres áreas conocidas como los valles de Zamora, de Los Reyes y de Tacámbaro, compuestos por 14 municipios¹ que, durante el periodo 2003–2023, en promedio anual, concentraron una significativa proporción del valor de la producción nacional de zarzamora (92 %), fresa (46.5 %), arándano (31.7 %) y framuesa (21.7 %) (SIAP, 2024).

Esta concentración de riqueza, con un valor promedio anual de 7.9 mil millones de pesos obtenidos de 12.8 mil hectáreas (SIAP, 2024), que se acompañó de altas tasas de ganancia, contrasta con el nivel de pobreza que reportó al menos 50 % de la población total y más del 60 % de la población indígena (CONEVAL, 2024), junto con un crecimiento sostenido de la violencia: en 2003 fueron 14.6 defunciones por homicidio por cada 100 mil personas y al final del periodo fueron 53 casos (INEGI, 2024). Además, una nula resistencia social ante un proceso de dos décadas de despojo en diversas dimensiones.

El objetivo de este artículo es exponer el contexto histórico en que se desarrolló la configuración regional de estos cultivos de exportación michoacanos y el papel que jugaron en las fases de acumulación de capital desde la posguerra, para contribuir a la comprensión de la dinámica económica, política y social que influyó en su conformación, a partir de la identificación de las principales tendencias de acumulación en el campo y los principales actores involucrados que encarnaron la contradicción entre capital y trabajo.

Con ello, mostramos que la configuración espacial de la acumulación a partir del cultivo de frutillas en Michoacán se expandió durante la fase de crisis y transición del modelo neoliberal, comandada por un grupo de capitales subordinados dentro del propio sector agroexportador, que a su vez obedecieron a la dinámica de fase de los capitales financieros e industriales transnacionales.

La condición de subordinación se explica por su desarrollo a partir de las condiciones de acumulación

¹ Estos municipios son Ario, Chilchota, Huiramba, Ixtlán, Jacona, Lagunillas, Los Reyes, Peribán, Salvador Escalante, Tacámbaro, Tangancícuaro, Tocumbo, Zamora y Ziracuaretiro.

ports—and by the rise of avocado as the hegemonic crop during the neoliberal period. This subordinate position allowed berry agro-export capital to benefit from an economic and political context favorable to export agriculture, without facing any organized resistance throughout the period.

From a historical-structural perspective, this study analyzes the strategies deployed by capital to overcome the contradictions inherent in its insertion into the rural economy. The study is organized into three sections: the first presents the theoretical and methodological framework; the second discusses the main findings, focusing on the general features of rural subordination and the articulation of the agro-export sector within this process, along with an overview of the peasant movement; the third offers general conclusions.

The core theoretical and analytical categories guiding this research include social form, capital accumulation regime, capital-labor relations, processes of exploitation and domination, and the subordination of agriculture to industry under capitalism. These concepts are articulated through the method of social form analysis, situated within the historical-structuralist tradition of agrarian studies.

Theoretical and Methodological Approach

The analytical framework of this study draws on the tools of the historical-structural approach (Rubio, 2012), which conceives of agriculture as a sector subordinated to industry under capitalism. Accordingly, social relations within this sector must be analyzed in relation to the development of the industrial sector of capital in particular, and of capital in general. This development is confronted by the structural barriers posed by the specificities of agricultural activity—most notably, its organic linkage to land and dependence on natural cycles—which serve as constraints on the development of the productive forces.

The analysis draws on core concepts such as the *regime*—as a historically specific phase marked by a particular articulation of capital-labor relations; *social classes*—as the subjects that embody distinct sectors, with this study focusing primarily on the capitalist class, the working class, and the peasantry; and the notions of *exploitation* and *domination*, understood

de la fresa del Valle de Zamora -agroexportable dominante de la posguerra- y por el ascenso del aguacate como cultivo hegemónico durante la fase neoliberal. Esta condición le permitió al capital agroexportador de frutillas beneficiarse del contexto económico y político favorable para los agroexportables, sin enfrentar una resistencia organizada en todo el periodo.

En esta exposición se analizan, desde un enfoque histórico-estructural, las estrategias del capital para superar las contradicciones en su inserción en el campo, y se divide en tres apartados, donde se abordan el enfoque teórico-metodológico, los resultados de la reflexión con las características generales de la subordinación del campo junto con la articulación del sector agroexportador en este proceso y la caracterización general del movimiento campesino; por último, se presenta el apartado de conclusiones generales.

Los principales conceptos y categorías teóricas y analíticas que se utilizan para realizar esta investigación son la forma social, el régimen de acumulación de capital, las relaciones capital-trabajo, los procesos de explotación y dominación, y la subordinación industria-agricultura en el capitalismo. En conjunto, este grupo de categorías son articuladas mediante el método de análisis de formas sociales, en el marco de la corriente histórico-estructuralista del campo.

Enfoque Teórico-metodológico

El abordaje analítico de esta investigación se basa en las herramientas del enfoque histórico-estructural (Rubio, 2012), con la concepción de la agricultura como un sector o ámbito subordinado a la industria en el capitalismo; por tanto, las relaciones sociales dentro de este ámbito deben estudiarse con relación al desarrollo del sector industrial del capital en particular y con el desarrollo del capital en general, que enfrenta las barreras impuestas por las características irrenunciables de las actividades agrícolas, fundamentalmente, su vínculo con la tierra y su dependencia con los ciclos naturales, que se transforman en frenos al desarrollo de las fuerzas productivas.

Se retoman las nociones de régimen, como una etapa histórica de articulación particular de relaciones entre capital y trabajo; de clases sociales, como sujetos que encarnan a cada uno de los sectores y que, para interés de esta investigación, las principales

in terms of the historically determined forms they assume, shaped by the shifting balance of class forces.

It is important to note that the analysis presented here is part of a broader research project² that conceives the *region* as a social form produced under capitalism—in other words, as the *mode of existence of social relations* (Bonnet, 2016), shaped by a historically constituted set of determinations (Blanke et al., 2017). Thus, understanding a regional configuration entails analyzing the internal structure of social relations within the specific historical and spatial context in which they unfold (Altvater, 2017). A key dimension of this type of analysis is the historical examination of how these relations materialize in particular forms (Holloway & Picciotto, 2017).

In keeping with the tools developed by the historical-structural approach, the Derivationist School (Hirsch, 2017; 2017a) conceptualizes *social forms* as expressions of the capitalist mode of socialization of labor. These qualitative features define the content of the form (Altvater & Hoffmann, 2017). Yet, in a contradictory and historically specific manner, we observe multiple concrete manifestations of the form—outcomes shaped by particular conjunctures in which those qualitative features are actualized (Wirth, 2017).

In sum, these methodological approaches provide a broader lens through which to understand the development of the regional configuration of berry production in Michoacán. Rather than relying on internalist explanations or treating the region as a self-contained unit, this perspective foregrounds the internal and external relations of the region as a social unit—relations that span scales, territories, sectors, and social classes embedded in other spatial units, all of which remain in constant movement and transformation. The following sections seek to explore these dynamics in detail.

Results and Discussion

This regional configuration consists of four core areas: the valleys of Zamora, Los Reyes, Tacámbaro, and Lagunillas-Huiramba. All are located within the Trans-Mexi-

son la clase capitalista, la clase trabajadora y la clase campesina; de explotación y dominación, y la forma que adoptan éstas en cada etapa histórica, definida por la correlación de fuerzas entre clases.

Cabe destacar que el análisis presentado en las siguientes líneas forma parte de una investigación más amplia² sobre el abordaje de la región como la forma social que adopta el espacio en el capitalismo, es decir, se trata de un análisis sobre el modo de existencia de las relaciones sociales (Bonnet, 2016) y como resultado de un devenir histórico que las compone por un conjunto de determinaciones (Blanke et al., 2017). Por tanto, la comprensión de una configuración regional pasa por el análisis de la estructura interna de relaciones en el contexto bajo el cual se desarrolla (Altvater, 2017) y una característica ineludible de este tipo de análisis es el abordaje histórico del desarrollo de estas relaciones que se materializan en formas particulares (Holloway & Picciotto, 2017).

En coincidencia con las herramientas desarrolladas desde el enfoque histórico-estructural, en la corriente derivacionista (Hirsch, 2017; 2017A) las formas son resultado del modo de socialización capitalista; estas características cualitativas definen el contenido de la forma (Altvater & Hoffmann, 2017), mientras que, por otro lado, y en relaciones contradictorias, encontramos diversas manifestaciones concretas de la forma, resultado de momentos y circunstancias históricamente dadas en las que se desarrollan estas características cualitativas que le dan contenido (Wirth, 2017).

En síntesis, estos enfoques metodológicos nos permiten una comprensión más amplia del contexto de desarrollo de la configuración regional de frutillas en Michoacán, descartando las explicaciones basadas solo en lógica interna de la región y en su estudio como una unidad en sí misma, sino a través de las relaciones internas y externas de esta unidad entre escalas, espacios, sectores y clases sociales de otras unidades espaciales que se mantienen en constante movimiento y transformación, como tratará de mostrarse en las siguientes líneas.

² This reflection forms part of the historical context of the research project titled *Region, politics, and accumulation: the Agro-export of Michoacán berries in the neoliberal crisis, 2003–2023*, carried out within the Doctoral Program in Regional Rural Development at the Universidad Autónoma Chapingo, Mexico.

² Esta reflexión es parte del contexto histórico de la investigación denominada *Región, política y acumulación: la agroexportación de frutillas michoacanas en la crisis neoliberal 2003-2023*, desarrollada en el marco del Programa de Doctorado en Ciencias en Desarrollo Rural Regional de la Universidad Autónoma Chapingo, en México.

can Volcanic Belt, which stretches from the southwest to the northeast and cuts across central Michoacán, a state situated in the west-central region of Mexico along the Pacific coast. The region has an average elevation of 1,950 meters above sea level and temperatures ranging from 10 to 24 degrees Celsius. The predominant climates are semi-warm subhumid and temperate subhumid, both characterized by summer rainfall. The dominant soil types are vertisols and andosols. Additionally, two-thirds of the area is covered by forest, followed by tropical vegetation (INEGI, 2010).

By 2020, the population of this regional configuration surpassed 683,000 inhabitants. Just over 6 % identified as Indigenous (CONEVAL, 2024), primarily Purhépecha, though speakers of Náhuatl, Otomí, and Mazateco were also present (INEGI, 2010). Nearly half of the population lived in poverty, and one in ten in extreme poverty (CONEVAL, 2024). Yet between 2003 and 2023, this region produced 40 % of the national production value of avocado and more than half of the total value of berry crops in the country (SIAP, 2024).

Fordism, developmentalism, and the emergence of Michoacán's berry agro-export sector

The development of strawberry cultivation in Michoacán—the first export-oriented berry crop, which transformed the economic and social dynamics of the Zamora Valley and gave rise to one of the earliest regional agro-export configurations—occurred between the 1940s and 1975, during the period that Rubio (2012) characterizes as the articulated form of subordination of agriculture to industry.

The reorganization of global capitalism following the end of World War II, under U.S. hegemony, ushered in the Fordist phase, characterized at its industrial core by standardized mass production, economies of scale, intensified labor use, assembly-line organization, and state management of the labor force (Rubio, 2012).

During the Fordist phase, agriculture played a key role by supplying cheap food to regulate wages and provide labor for the expanding industrial sector, as well as cheap raw materials for the agroindustry and certain branches of manufacturing. In Latin American countries, beyond these contributions, agriculture

Resultados y Discusión

Esta configuración regional está compuesta por cuatro espacios centrales: los valles de Zamora, Los Reyes, Tacámbaro y Lagunillas-Huiramba, todos ubicados dentro del eje Neovolcánico Transversal que se despliega del suroeste al noreste, atravesando por el centro al estado de Michoacán, ubicado en el sur-occidente de México, en la costa Pacífico; con una altura promedio de 1 950 metros sobre el nivel del mar, y temperaturas entre los 10 y 24 grados centígrados; en climas semicálido subhúmedo y templado subhúmedo con lluvias en verano, como los principales; y con suelos vertisoles y andosoles, como dominantes; además, dos terceras partes de esta configuración está cubierta de bosques, en primer lugar, seguido de vegetación selvática. (INEGI, 2010).

Para 2020, la población de esta configuración regional rebasó los 683 mil habitantes: poco más del 6 % era población indígena (CONEVAL, 2024), principalmente Purhépecha, aunque también se registraron hablantes de Náhuatl, Otomí y Mazateco (INEGI, 2010); con cerca de la mitad de población en situación de pobreza y una de cada 10 en situación de pobreza extrema (CONEVAL, 2024); pero en esta configuración, entre 2003 y 2023, se produjo el 40 % del valor nacional de los cultivos de aguacate y más de la mitad del valor de los cultivos de frutillas de todo el país (SIAP, 2024).

Fordismo, desarrollismo y el inicio de la agroexportación de frutillas michoacanas

El desarrollo del cultivo de la fresa en Michoacán, la primera frutilla de exportación que transformó la dinámica económica y social del Valle de Zamora y resultó en una de las primeras configuraciones agroexportadoras regionales, se presentó entre las décadas de 1940 y 1975, durante el periodo que Rubio (2012) caracterizó como la forma articulada de subordinación de la industria sobre la agricultura.

La reorganización del capitalismo mundial concretada al concluir la segunda guerra mundial, bajo la hegemonía estadounidense, abrió paso a la fase fordista, caracterizada en su núcleo industrial por la producción estandarizada de mercancías, las economías de escala, la intensificación del uso de fuerza de trabajo, la organización del trabajo en cadena productiva y la gestión estatal de la fuerza de trabajo Rubio (2012).

El papel de la agricultura durante la fase fordista fue la dotación de alimentos baratos para regular el salario

also served as a vital source of foreign exchange (Rubio, 2012; Bartra, 1977).

The historical manifestation of Fordism in Latin America was the developmentalist period—also referred to as import substitution industrialization (ISI) or inward-directed development (Valenzuela, 2016)—which focused on policies of import substitution and price controls. Driven by private capital and extensive state intervention, this period placed the development of a national industrial sector at the center of Mexico's economic organization, subordinating all other sectors (Gracida, 2004), including agriculture. Agricultural production was largely in the hands of broad sectors of the peasantry, who cultivated small plots of land resulting from agrarian reform and produced for both subsistence and the market.

Agriculture was subordinated through two forms of control: commercial and productive. In both cases, most food and input production was carried out by peasants or wage-earning producers who lacked the capacity to appropriate rent, in order to prevent the diversion of surplus value toward agriculture (Rubio, 1987).

The commercial form of domination consisted in paying peasants below the value of their commodities, thereby ensuring cheap food for the working class, keeping wages low, and sustaining high industrial profit rates. This same mechanism also enabled agroindustry to obtain cheap raw materials, contributing to its high rates of return (Rubio, 1987; Bartra, 1977).

The productive form of subordination was implemented through contract farming, which vertically integrated agriculture into industrial processes and the demands of urban development. Capital restructured agricultural production to adapt it—as far as technological development allowed—to the needs of industry. This entailed the use of a new technological package with a rising organic composition of capital, which increased productivity and intensified labor use, effectively turning peasants into wage-earning producers (Rubio, 1987). This mode expanded from the 1960s onward and facilitated the supply of cheap food and raw materials until the articulated form of domination entered into crisis.

For most of the period, the relationship between peasants and the state was one of alliance, as the former constituted the main political base for the postwar process of industrial and urban expansion.

y dotar de fuerza de trabajo al creciente sector industrial, así como de materias primas baratas para la agroindustria y algunas ramas manufactureras. En el caso de los países de América Latina, además de estas contribuciones, la agricultura también fue una fuente para la obtención de divisas (Rubio, 2012; Bartra, 1977).

La expresión histórica del fordismo en América Latina fue el periodo desarrollista, también conocido como industrialización sustitutiva o desarrollo hacia adentro (Valenzuela, 2016), que se centró en la política de sustitución de importaciones y de control de precios. Bajo el comando del capital privado y una amplia intervención estatal, en este periodo se puso como centro ordenador de la economía mexicana el desarrollo de una industria nacional que subordinó al resto de los sectores económicos (Gracida, 2004), entre ellos la agricultura, cuya producción estaba en manos de amplios contingentes campesinos con extensiones pequeñas de tierra, resultado del reparto agrario, base para una producción que se distribuía entre el autoconsumo y el mercado.

La subordinación de la agricultura se realizó por dos vías de dominio, la comercial y la productiva; en ambos casos significó que la mayor parte de la producción alimentaria y de insumos estuviera a cargo de campesinos o de productores asalariados sin capacidad de captación de renta, para evitar la desviación de plusvalor hacia la agricultura. (Rubio, 1987)

La vía de dominio comercial consistió en retribuir a la mercancía campesina por debajo de su valor para obtener alimentos baratos para el consumo obrero, lo que permitió mantener bajos salarios y sostener una alta tasa de ganancia industrial. Este mecanismo también permitió a la agroindustria la obtención de materias primas baratas que contribuyeron a sus altas tasas de rendimiento (Rubio, 1987; Bartra 1977).

La vía de subordinación productiva se realizó mediante la agricultura por contrato, que integró verticalmente a la agricultura como parte del proceso industrial y de las necesidades del desarrollo urbano. El capital modificó el proceso productivo agrícola para adecuarlo, en la medida que el desarrollo tecnológico lo permitió, a las necesidades de la industria, que implicó la utilización de un nuevo paquete tecnológico con una composición orgánica creciente que desarrolló la productividad y aumentó los niveles de intensidad de uso de la fuerza de trabajo, convirtiendo

Beyond their economic contribution, they also spearheaded the advance against the dominant classes of the previous primary-export accumulation regime.

The participation of the agro-export sector was restricted by the logic of articulated accumulation, which was accompanied by a tariff structure and incentives aimed at promoting national production for domestic consumption. This did not prevent the development of export-oriented crops such as coffee, cacao, sugarcane, and especially fruits like strawberries grown in the Zamora Valley. These crops required processing to be exported and were thus linked to agroindustrial capital, which drove the transformation of peasants into wage-earning producers.

In the case of Michoacán's strawberry sector, between 1952 and 1960, strawberries were sold to packing and freezing plants located outside the valley. In 1961, the first packing plant was established in the Zamora Valley, followed by several others. This led to a steady expansion of cultivated land and the adoption of the technological package required for strawberry production (Hernández, 2015).

The emergence of this region in Michoacán—and its integration into a national agro-export sector—took place at the intersection of import substitution industrialization, which required foreign exchange to import capital goods, and the growing international demand for everyday food products consumed by working-class populations abroad, such as strawberries. In the specific case of Zamora, the strawberry agroindustry emerged from a partnership between local and U.S. capital.

The peasant movement of this period was defined by resistance to structural displacement driven by shifting industry–agriculture relations. Between 1970 and 1983, large contingents of rural labor were expelled as the peasant productive unit collapsed—after more than two decades of exploitation, the introduction of labor-intensive technological packages, and the failure of import-substitution industrialization to absorb the surplus labor (Rubio, 1987). The predominant form of struggle was centered on land, with a radical and anti-capitalist orientation.

The response to peasant mobilization took the form of an alliance between various factions of capital and the state. This alliance, in turn, provoked a new set of secondary demands from the peasant move-

al campesino en productor asalariado (Rubio, 1987). Esta vía creció a partir de los años 60 y permitió la obtención de alimentos y materias primas baratas, hasta que la forma de dominio articulado entró en crisis.

La mayor parte del periodo, la relación entre campesinos y Estado fue de alianza, debido a que los primeros representaron el principal apoyo político para la expansión del proceso industrial y urbano de la posguerra, además de su contribución económica, encabezaron la avanzada contra las clases dominantes del previo régimen de acumulación primario-exportador.

La participación del sector agroexportador era restringida por la lógica articulada de acumulación, que se acompañó de una estructura arancelaria y de incentivos a la producción nacional para consumo local. Esto no impidió el desarrollo de cultivos con orientación exportadora, entre ellos café, cacao, caña de azúcar y, particularmente, frutas, como la fresa plantada en el Valle de Zamora. Estos cultivos pasaban por un proceso de transformación para lograr su exportación y, por tanto, estaban ligados al capital agroindustrial, que provocó la transformación de campesinos en productores asalariados.

En el caso de la fresa michoacana, entre 1952 y 1960, ésta era vendida a empacadoras y congeladoras ubicadas fuera del valle y, a partir de 1961, se instaló la primera empacadora en el Valle de Zamora, a la que siguieron otras y un consecuente incremento de la superficie sembrada, así como la utilización del paquete tecnológico que exigía la producción de esta frutilla (Hernández, 2015).

La conformación de esta región en Michoacán y de un sector agroexportador a escala nacional, se presentó entre el cruce de la industrialización por sustitución de importaciones, que demandaba divisas para importar bienes de capital, y la demanda creciente de alimentos para el consumo cotidiano de clases trabajadoras de otros países, como ocurrió con la fresa. De manera particular, en Zamora, la agroindustria fresera fue resultado de la asociación de capitales locales y estadounidenses.

El movimiento campesino de esta época se caracterizó por la resistencia a la expulsión estructural por los cambios en la relación industria-agricultura, traducida en la liberación de grandes contingentes de fuerza de trabajo entre 1970 y 1983, resultado del desmoronamiento de la unidad productiva campesina ante

ment: an end to repression; guarantees of democratic freedoms; higher prices and the timely distribution of public resources; genuine political representation in rural territories—particularly Indigenous ones—as well as wage increases and the legal recognition of rural unions. This was a heterogeneous movement made up of agricultural laborers, poor and middle peasants, rural proletarians, and wage-earning producers employed by agroindustry. Mobilizations were concentrated in two regions: the north of the country, a site of capital-intensive agricultural reproduction, and the central-southern region, a zone of accumulation for extensive agricultural capital with low organic composition (Rubio, 1987; Bartra, 1977).

In the Zamora region, mobilization was more specifically oriented toward raising strawberry prices. Organized in regional unions, wage-earning producers succeeded in establishing annual production quotas to prevent price declines caused by overproduction, and to regulate the import of mother strawberry plants (Hernández, 2015).

Crisis of the strawberry agro-export model

The crisis of the Fordist regime—driven by the decline in industrial profit rates—and the collapse of Latin American developmentalism—due to its chronic tendency toward indebtedness—reflected the exhaustion of prior forms of exploitation of both industrial and peasant labor. This breakdown also severed the historical link between wages and food prices.

The recovery of profit rates was achieved through wage reductions, but this came at the cost of shrinking consumption capacity and contracting the domestic market. Low wages were no longer sustained by the abundant and cheap production of food, but rather by high levels of unemployment and the dismantling of labor unions—an expression of the prevailing balance of class forces at the time (Rubio, 2012).

The context of this rupture was an agrarian sector made up of capitalist farmers, agro-commercial and agroindustrial capitalists, and a vast mass of small and medium producers whose productive capacity had been undermined by value extraction aimed at cheapening industrial labor through the purchase of food below its value. Added to this was a large contingent of underemployed agricultural labor (landless

más de dos décadas de expoliación, el uso de paquetes tecnológicos intensivos en uso de mano de obra y la incapacidad de la industria sustitutiva para absorber los contingentes de fuerza de trabajo liberados (Rubio, 1987). La forma de lucha generalizada fue por la tierra, con un carácter anticapitalista y radical.

La respuesta contra el campesinado configuró una alianza entre diversos capitales y el Estado, que a su vez generaron otro conjunto de demandas secundarias del movimiento campesino: alto a la represión, garantía de libertades democráticas, aumento de precios y distribución oportuna de recursos públicos, así como una representación política auténtica en territorios rurales, principalmente indígenas; aumento salarial y registro de sindicatos rurales. Fue un movimiento heterogéneo, conformado por jornaleros agrícolas, campesinos pobres y medios, proletarios rurales y productores asalariados al servicio de la agroindustria, y su movilización se concentró en la región norte del país, espacio de reproducción del capital agrícola de punta, con un carácter más intensivo; y en la región centro-sur, lugar de acumulación para el capital agrícola extensivo y de baja composición orgánica. (Rubio, 1987; Bartra, 1977).

En la región de Zamora, la lucha se orientó más hacia el aumento de precios de la fresa y, organizados en uniones regionales, los productores asalariados lograron establecer cuotas anuales de producción para evitar la caída de precios por sobreproducción y para la importación de plantas madre de fresa (Hernández, 2015).

Crisis del modelo agroexportador fresero

La crisis del régimen fordista por declinación de la cuota de ganancia industrial, y del desarrollismo latinoamericano por su tendencia crónica al endeudamiento expresó el agotamiento de las formas de explotación del trabajo obrero y campesino y, con ello, se rompió el vínculo entre salarios y precios de alimentos.

La recuperación de la cuota de ganancia se logró mediante la reducción de los salarios, pero se estrecharon la capacidad de consumo y el tamaño del mercado interno. El bajo nivel del salario ya no se basó en la producción barata y abundante de alimentos, sino en altos niveles de desempleo y en la quiebra de sindicatos, expresando la correlación de fuerzas de la época (Rubio, 2012).

farmworkers) that served the process of capital accumulation (Bartra, 1977).

Between 1981 and 1989, Mexico experienced a 13 % reduction in the area planted with maize—over one million hectares went uncultivated—while the price per ton increased more than 73-fold due to rising prices. The area planted with beans fell by 28 %, with the price per ton rising more than 60-fold. In contrast, avocado—a crop that would become the country's second most important four decades later—saw a 27.3 % increase in cultivated area and a more than 79-fold increase in price per ton (SIAP, 2024).

The postwar agro-export sector, closely tied to agroindustry, contracted as a consequence of the breakdown in the agroindustry–agriculture relationship, driven by a shrinking domestic market and declining food demand. This contraction was further exacerbated by rising prices for imported inputs and machinery, resulting from increased international interest rates and the persistence of an overvalued U.S. dollar (Rubio, 2012).

As rising agroindustrial production costs outweighed the gains from declining real wages, traditional industries turned to importing cheap agricultural inputs. The crisis of agroindustrial dominance prompted foreign firms to shift toward more profitable activities, repatriate investments to their countries of origin, and cut back on production and agroindustrial surpluses.

In the Michoacán strawberry sector, two overproduction crises emerged in the early 1970s due to declining U.S. demand, which led to the withdrawal of foreign capital from the agroindustry and the bankruptcy of wage-earning producers. Local capital assumed control of the accumulation process and unsuccessfully sought to place their commodities in a now-contracted domestic market. An additional strategy was the control of cultivated areas to maintain sufficient profit levels without altering the agroindustrial relationship. However, despite a recovery in U.S. demand, exports did not rebound due to the exhaustion of the agroindustrial base in Zamora (Hernández, 2015).

In the final stage of the developmentalist crisis, strawberries remained the country's only cultivated berry, though Michoacán's output showed growing irregularity: in 1980, the state accounted for 64.2 %

El contexto de este quiebre era un sector compuesto por agricultores capitalistas, capitalistas agro-comerciales y agroindustriales, junto a una gran masa de pequeños y medianos productores, con capacidad productiva debilitada por la extracción de valor para el abaratamiento del salario industrial, vía la adquisición de producción alimentaria por debajo de su valor; a este sector se sumó un gran contingente de fuerza de trabajo agrícola subocupada (jornaleros sin tierra) que servía a la acumulación (Bartra, 1977).

Entre 1981 y 1989 en México se redujo 13 % la superficie sembrada de maíz y dejaron de sembrarse más de 1 millón de hectáreas, mientras que el valor por tonelada creció más de 73 veces como efecto del incremento de precios; la superficie sembrada de frijol cayó 28 % y el precio por tonelada creció más de 60 veces; mientras tanto, el aguacate, cultivo que 40 años después se convirtió en el segundo más importante del país, aumentó su superficie sembrada en 27.3 % y su valor por tonelada creció más de 79 veces (SIAP, 2024).

El sector agroexportador de la posguerra, ligado a la agroindustria, se contrajo como reflejo de la fractura de la relación agroindustria-agricultura por la estrechez del mercado interno y la reducción de la demanda de alimentos, aunado al incremento del precio de los insumos y la maquinaria importada, provocado por el alza de las tasas internacionales de interés y el sostenimiento de un dólar sobrevaluado (Rubio, 2012).

Dado que el aumento de costos de producción en la agroindustria tuvo mayor impacto que la reducción del salario real, la industria tradicional optó por la importación de insumos agrícolas baratos. Esta crisis del dominio agroindustrial provocó que empresas extranjeras migraran hacia actividades más rentables, que se retrajera el flujo de inversiones hacia las matrices de los países de origen y que cayeran la producción y los excedentes agroindustriales.

Respecto al negocio de la fresa michoacana, a inicios de los 70 se presentaron dos crisis de sobreproducción por la caída de la demanda estadounidense, provocando la salida del capital extranjero de la agroindustria y la quiebra de productores asalariados. Los capitales locales comenzaron a dirigir el proceso de acumulación y optaron por buscar la venta, sin éxito, de sus mercancías en un mercado nacional más estrecho. Una estrategia adicional fue el control de extensiones de siembra para

of the national strawberry production value; in 1984, 96 %; and by 1989, just 54.9 %. During the same period, Michoacán became the national epicenter of avocado cultivation, contributing 28.8 % of its production value in 1980 and 71.9 % in 1989, along with 69.5 % of the country's total cultivated area (SIAP, 2024).

The land-based peasant movement declined toward the end of this period, following the collapse of the articulated regime. In the final stage of the transition, even the productive viability of the peasantry was called into question, as a broad sector of peasant production units had been severely weakened. Within this context, a new current of mobilization emerged: the struggle for economic reintegration, led by the National Union of Autonomous Regional Peasant Organizations (UNORCA).

This struggle unfolded on two levels: the need for productive integration and the pragmatic conditions required to sustain it. On the productive level, it aimed to achieve food sovereignty through peasant self-management and state support for strengthening production oriented toward the domestic market and redistributing rural income. On the pragmatic level, it embraced key neoliberal principles: recognition that production should be market-driven and that the Mexican economy should be integrated into global competition, along with the adoption of notions such as efficiency, competitiveness, and sustainability in peasant production (Rubio, 1996).

In the Michoacán strawberry-producing region, the pragmatic dimension prevailed. Producer unions made unsuccessful attempts to control production, create an export channel for processed strawberries, and manage the import of agricultural inputs (Hernández, 2015).

Rise of neoliberal and agro-export-oriented agriculture

During the 1980s and 1990s, global conditions took shape that allowed exports—including agri-food exports—to become the main lever of accumulation, under the dominance of financial capital and through the imposition of an exclusionary model in which agriculture was subordinated to industry.

This new phase of capitalism was grounded in a global and digital order, shaped by the third techno-

mantener niveles de ganancia suficientes, sin modificar la relación agroindustrial. Sin embargo, ante una recuperación de la demanda estadounidense, no repuntó la exportación debido al agotamiento de la agroindustria zamorana (Hernández, 2015).

En esta última etapa de la crisis del periodo desarrollista, el único cultivo de frutillas existente en el país era la fresa, con un comportamiento irregular desde Michoacán: en 1980, aportó 64.2 % del valor de la producción nacional fresera, mientras que en 1984 aportó 96 % y en 1989 solo 54.9 %. En el mismo periodo, la entidad fue el epicentro nacional del cultivo de aguacate: en 1980 aportó 28.8 % del valor de la producción nacional de este fruto y en 1989 contribuyó con 71.9 %, que se reflejó en la concentración del 69.5 % de la superficie nacional sembrada (SIAP, 2024).

El movimiento campesino por la tierra decayó a finales de este periodo, debido a la quiebra del dominio articulado y, en la última fase de la transición, la viabilidad productiva del campesino también estuvo cuestionada, al encontrarse con un amplio sector de unidades campesinas debilitadas. En este marco surgió una nueva vertiente del movimiento: la lucha por la reinserción económica, encabezada por la Unión Nacional de Organizaciones Regionales Campesinas Autónomas (UNORCA).

Esta lucha se orientó en dos planos: las necesidades para integración productiva y las necesidades pragmáticas para consolidar dicha vía. En lo productivo se orientó a la autosuficiencia alimentaria mediante la autogestión campesina y el apoyo del gobierno para el fortalecimiento de la producción orientada al mercado interno y la redistribución del ingreso rural. En lo pragmático, se asumieron los principios del modelo neoliberal respecto a reconocer la orientación de la producción a partir del mercado, así como integrar a la economía mexicana a la competencia global, con la adopción de las nociones de eficiencia, competitividad y sostenibilidad en la producción campesina (Rubio, 1996).

En el valle fresero michoacano prevaleció el plano pragmático con el intento, sin éxito, del control de la producción por parte de la unión de productores, la creación de un canal de comercialización para la exportación de la fresa industrializada y la importación de insumos (Hernández, 2015).

logical revolution and a renewed stage of capital internationalization led by transnational corporations, as a response to the prolonged crisis of the previous phase. It was also characterized by the erosion of national sovereignty and of the internal logic of the Fordist state, which became rearticulated within a global economic dynamic dominated by transnational capital. This erosion is explained by the nature of the new accumulation regime, which—economically—entailed the unification of international financial markets, the multinational integration of large corporations, the formation of regional trade blocs, and the coordination of economic policies among major capitalist powers (Rubio, 2012).

Accumulation was based on a flexible regime. Latin American countries became integrated into this new framework through external demand for high-quality, differentiated goods. As a result of the crisis and rising income concentration, domestic markets also developed consumer segments for these products, although to a lesser extent than external demand. This process gave rise to a new international division of labor characterized by industrial decentralization, which, for the first time, enabled the development of advanced export-oriented industries in dependent countries (Rubio, 2012). A global agri-food market thus took shape, and in Mexico's case, the North American Free Trade Agreement (NAFTA) came into effect as a model of trade integration that was subsequently expanded worldwide (Holt-Giménez & Raj, 2010).

Neoliberalism is characterized as a phase of accumulation in which financial capital subordinates productive capital. Production is oriented toward export, based on low wages and cheap agricultural raw materials. Capital concentration and centralization intensify, while labor exploitation is deepened through flexibilization and mechanisms of overexploitation that result in rising rates of surplus extraction. Monopoly power expands, underpinned by a digital technological base. Authoritarian governments take hold under the guise of democratic progress, and the state withdraws from social spending to prioritize the development of export-oriented industries. In this context, foreign capital is attracted to facilitate national economic access to international markets dominated by transnational corporations (Rubio, 2012).

Auge de la agricultura neoliberal y agroexportadora

En las décadas de los 80 y 90 se desarrollaron a escala mundial las condiciones para que la exportación, incluida la agroalimentaria, se constituyera en la palanca principal de la acumulación, bajo el dominio del capital financiero y mediante la configuración de un modelo de subordinación excluyente de la industria sobre el campo.

Esta nueva fase del capitalismo tuvo como base el orden informático y global, con la tercera revolución tecnológica y una nueva fase de internacionalización de capital impulsada por las transnacionales como una salida a la larga crisis de la fase anterior, que también se caracterizó por erosionar las nociones de soberanía de los estados-nación y la estructura de la lógica interna del Estado fordista, ahora articulado a una dinámica económica global comandada por transnacionales. La erosión se explica porque este nuevo régimen de acumulación, en lo económico, consistió en la unificación de los mercados financieros internacionales, la integración multinacional de grandes corporaciones, la constitución de bloques comerciales regionales y la coordinación de políticas económicas entre grandes potencias capitalistas (Rubio, 2012).

La acumulación se basó en el régimen flexible. La forma de articulación de los países latinoamericanos fue a partir de la demanda externa de bienes diferenciados y de alta calidad, aunque, resultado de la crisis, la alta concentración del ingreso al interior también integró a un grupo que demandaba este tipo de productos, aunque en menor medida que la demanda externa. Se conformó así una nueva división internacional del trabajo, caracterizada por la descentralización de la industria que, por primera vez, dio lugar al desarrollo de una industria exportadora de punta en países dependientes (Rubio, 2012). Se constituyó un mercado global alimentario y, en el caso de México, entró en vigor el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), modelo de integración comercial expandido a nivel mundial (Holt-Giménez & Raj, 2010).

El neoliberalismo se caracteriza como la fase de acumulación en la que el capital financiero subordina al productivo, la producción se orienta a la exportación sobre la base de bajos salarios y bajos costos de materias primas agropecuarias; la concentración y centralización del capital se agudiza, la explotación

As Rubio (2012) explains, capital established a mechanism of wealth extraction based on the exclusive domination of the exploited classes—one that combined exploitation with subordination aimed at ultimately excluding them. In industry, this translated into temporary contracts, home-based labor, and low wages, resulting in high labor turnover. In agriculture, unprofitable prices for peasant production were sustained, while national production was steadily replaced with imports, accelerating the deterioration of productive units. Small and medium-sized entrepreneurs were subordinated to transnational capital and channeled part of their profits into the financial sector. As a collective, they were integrated into the process of exploitation; as individuals, they were excluded from the circuit of accumulation.

The impact on Mexican agriculture was devastating under the oligopolistic price control imposed by agri-food transnationals. These corporations based their accumulation on the consolidated global food market and on free trade agreements between core and dependent countries—agreements in which the former enjoyed productive advantages stemming from advanced technology and agricultural subsidies, while the latter faced the compounded effects of decades of crisis and the collapse of rural productive capacity (Rubio, 2006).

The collapse of domestic food production—driven by a devastated agricultural sector, the influx of subsidized international food supplies, and the orthodoxy of neoliberal policy—further eroded Mexico's capacity for food self-sufficiency and deepened its dependence on foreign imports. This was compounded by the dismantling of productive conditions following the abandonment of agricultural development policy. The impact extended to the disintegration of both peasant and entrepreneurial production units, setting in motion the depopulation of the Mexican countryside during the 1990s.

Rubio (2006) notes that postwar agro-export crops began to contract, though the greatest impact was felt by grain and oilseed production. At the same time, the trend toward rural abandonment facilitated the introduction of new crops geared toward the global market—this time promoted by transnational agri-food corporations.

del trabajo se combina con flexibilización y mecanismos de sobreexplotación que redundan en el aumento de las cuotas de explotación; el grado de monopolio aumenta y su base tecnológica es informática; se instalan gobiernos autoritarios con supuestos avances democráticos y el Estado retira el gasto social para orientar sus esfuerzos hacia el desarrollo de la industria de exportación, atrayendo capital extranjero para facilitar el acceso de la economía nacional a los mercados internacionales dominados por transnacionales (Rubio, 2012).

Como explica Rubio, (2012), el capital instaló un mecanismo de extracción de riqueza vía el dominio excluyente de las clases explotadas, consistente en una forma de explotación y de subordinación tendiente a excluirlos luego de explotarlos: en la industria prevaleció la contratación temporal, el trabajo a domicilio y los bajos salarios, provocando una gran rotación del trabajo; en el campo, se mantuvieron precios no rentables para la producción campesina y constantemente se sustituyó la producción nacional con importaciones, que incrementaron el desgaste de las unidades productivas. Los pequeños y medianos empresarios fueron subordinados al capital transnacional y transfirieron parte de sus ganancias al sector financiero. Como conjunto se les incluyó en la explotación; como individuos, se les excluyó del circuito de acumulación.

El efecto en el campo mexicano fue devastador ante el control oligopólico de precios por las transnacionales agroalimentarias, que utilizaron como base de acumulación el mercado global alimentario consolidado y los tratados de libre comercio entre países centrales y dependientes, donde los primeros contaban con ventajas productivas por su base tecnológica y una agricultura subsidiada; en tanto que, en los segundos se sumaban varias décadas de crisis y desmoronamiento de la capacidad productiva del campo (Rubio, 2006).

La incapacidad de producir alimentos por una agricultura devastada, la oferta alimentaria internacional subsidiada y la ortodoxia de las políticas neoliberales, profundizaron el deterioro de la capacidad productiva alimentaria del país y su dependencia a los alimentos del exterior; esto se acompañó de la fractura de las condiciones productivas por el abandono

Unlike the previous period—when maize, sorghum, sugarcane, wheat, tomato, and coffee accounted for half of the total production value and 60 % of cultivated land—between 1990 and 2002, eight crops accounted for more than 50 % of the average annual value of Mexican agriculture: maize (19.1 %), sugarcane (7.21 %), pastures and grasslands (5.12 %), tomato (4.43 %), beans (4.29 %), sorghum (4.13 %), green alfalfa (3.86 %), and cherry coffee (3.47 %). Together, these crops occupied 74.91 % of the total cultivated area nationwide (SIAP, 2024).

Globally, this process reflects the dominance of the corporate food regime (McMichael, 2009, 2015), marked by the leading role of transnational corporations in controlling production, distribution, and the shaping of global food consumption patterns. This regime is characterized by an international division of agricultural labor in which countries of the Global South produce and export high-value foods—such as fruits, vegetables, preserves, and juices—to the North, while the Global North focuses on the production and export of low-cost grains to the South.

Within this framework, the restructuring of Michoacán's strawberry cultivation—still concentrated in the Zamora Valley—unfolded along two paths: the introduction of a new technological package, after forty years, which led to a temporary increase in productivity; and the transformation of the local agroindustry toward more sophisticated processes for producing food inputs—such as jams and dehydrated fruits—for both domestic and international markets (Hernández, 2015).

Michoacán also consolidated its position as the national leader in avocado production, accounting for 89.3 % of the total production value of this crop in 2002. While the state's strawberry capital entered a phase of stagnation, raspberries and blackberries were incorporated into the productive structure. At the beginning of the 1990s, Michoacán's strawberry crop contributed 53.7 % of the national production value, but this figure dropped to 38.5 % by 2002. Blackberries initially accounted for 95.3 % of the national crop value, declining slightly to 92.5 % in 2002. In the case of raspberries, their share dropped from 36.3 % in 1996 to just 8.4 % by 2002 (SIAP, 2024).

This trajectory indicates that strawberries and other berries, while cultivated for export, did not drive

de la política de fomento agrícola y el impacto se extendió a la desestructuración de unidades productivas, tanto campesinas como empresariales; y con ello, comenzó el despoblamiento del campo mexicano en los años 90.

Rubio (Rubio, 2006) destaca que los cultivos de agroexportación de la posguerra comenzaron a contraerse, pero la principal afectación fue para granos y oleaginosas. Además, con la tendencia al abandono del campo, se promovió la instalación de nuevos cultivos de interés para el mercado global, pero esta vez, impulsadas por transnacionales agroalimentarias.

A diferencia del periodo previo, cuando el maíz, sorgo, caña, trigo, café y tomate rojo, conformaban la mitad del valor de la producción nacional y el 60 % de la superficie sembrada, durante el periodo 1990-2002 ocho cultivos concentraron más del 50 % del valor anual promedio de la agricultura mexicana: maíz (19.1 %), caña de azúcar (7.21 %), pastos y praderas (5.12 %), tomate rojo (4.43 %), frijol (4.29 %), sorgo (4.13 %), alfalfa verde (3.86 %) y café cereza (3.47 %); en este grupo se concentró el 74.91 % de la superficie sembrada de todo el país (SIAP, 2024).

A nivel global, este proceso corresponde al dominio del régimen agroalimentario corporativo (McMichael, 2009, 2015), caracterizado por la participación preponderante de corporativos transnacionales en el control de la producción, distribución e imposición de patrones de consumo alimentario a nivel mundial, con una división del trabajo agrícola donde los países del Sur producen y exportan al Norte verduras, frutas, conservas y jugos, entre otros alimentos de alto valor, mientras que el Norte se dedica a la producción y exportación de granos de bajo costo hacia el Sur.

En este marco se presentó la reestructuración del cultivo de la fresa michoacana, aun contenida en el Valle de Zamora, por dos vías: la introducción de un nuevo paquete tecnológico después de 40 años, con un incremento temporal de la productividad; y la transformación de la agroindustria local hacia procesos más sofisticados para producción de insumos alimentarios para otras industrias, como mermeladas y frutas deshidratadas, tanto para el mercado nacional como internacional (Hernández, 2015).

También se consolidó la participación de Michoacán como líder nacional en la producción aguacatera, concentrando el 89.3 % del valor de la producción

agro-export accumulation during the early decades of the neoliberal period in Michoacán or Mexico. In contrast, avocado cultivation experienced significant growth. Moreover, these export-oriented fruits remained subordinated to grain crops, which were the primary focus of transnational corporations in their efforts to control the global food market.

Contreras and Ramírez (2024) argue that the structure of agricultural production in Michoacán stems from the relocation of U.S. agricultural capital, prompted by a crisis of overaccumulation driven by the postwar technological package. This process was accompanied by a deterioration of the socio-ecological conditions necessary to sustain profit rates—an issue that investors sought to offset through investment in Michoacán's lands via contract farming schemes, where local producers absorbed the costs of cheap labor and socio-ecological degradation.

However, this hypothesis overlooks the specific form assumed by capital during this stage of accumulation: transnational capital led by its financial fraction, situated within the international commercial circuit, which in turn subordinates productive capital as a means of extracting value under neoliberalism. Therefore, beyond a mere relocation of agriculture, this stage entails a transformation of productive capital into its commercial or financial form—one that subjugates the local productive sector.

During this period, the peasant movement responded by focusing on the strengthening of productive autonomy, a strategy spearheaded by UNORCA and eventually adopted even by traditional corporatist organizations. These organizations ultimately backed the neoliberal agenda for the countryside, which culminated in the 1992 reform of Article 27 of the Constitution—aimed at privatizing communal lands—and in the implementation of NAFTA in 1994.

The political and social conditions in Michoacán allowed this movement to gain significant momentum. However, the primary actors demanding government support for productive autonomy were agro-export producers. As a result, rather than bolstering production for the domestic market, what was ultimately strengthened were agro-export enterprises (Barón & Hernández, 2020).

nacional de este cultivo en 2002. Al mismo tiempo que el capital fresero michoacano entró en estancamiento, llegaron a la estructura productiva la frambuesa y la zarzamora: la fresa michoacana, aportó el 53.7 % del valor nacional al inicio de los 90 y cerró en 2002 con 38.5 %. La zarzamora inició con la aportación del 95.3 % del valor nacional del cultivo y cerró en 2002 con el 92.5 %. En frambuesa, en 1996 aportó el 36.3 % del valor y en 2002 solo el 8.4 % (SIAP, 2024).

Este comportamiento muestra que la fresa y otras frutillas fueron productos de exportación que no comandaron la acumulación agroexportadora durante las primeras décadas del periodo neoliberal en Michoacán ni en México, a diferencia del boyante cultivo de aguacate, y a su vez, estos frutales agroexportables se encontraban subordinados a cultivos de granos, que fueron el principal interés de las trasnacionales para el dominio del mercado global alimentario.

Contreras & Ramírez (2024) observan que la estructura productiva agrícola michoacana deriva de una relocalización del capital agrícola estadounidense debido al proceso de sobreacumulación provocado por el paquete tecnológico de la posguerra, acompañado de un debilitamiento de las condiciones socioecológicas para sostener la tasa de ganancia, que buscó compensarse con la inversión en tierras michoacanas vía agricultura por contrato, donde los productores locales asumieron los bajos costos de fuerza de trabajo y la afectación al contexto socioecológico local.

Sin embargo, esta hipótesis omite destacar la forma adoptada por el capital en esta etapa de acumulación: un capital trasnacional comandado por su forma financiera, localizado en el eslabón comercial internacional, que a su vez subordina al capital productivo para la extracción de valor en la etapa neoliberal. Por tanto, además de una relocalización de la agricultura, primero se trata de un cambio de forma del capital productivo hacia su forma comercial o financiera, que subordina al sector productivo local.

En este periodo, la respuesta del movimiento campesino se centró en el fortalecimiento de la autonomía productiva, encabezada por la UNORCA, y asumida por las organizaciones corporativas tradicionales, quienes apoyaron la propuesta neoliberal para el campo, la cual culminó en la modificación del artículo

Neoliberal crisis and the expansion of agro-exports

During this period, the conditions were set for the expansion and sustained development of regional berry production in Michoacán over the following two decades. The context in which this unfolded was as follows.

The crisis of U.S. hegemony deepened with the economic rise of China and India, among others, although the United States maintained its financial dominance due to the dollar's role as the primary international currency. This crisis became evident with the Iraq War at the turn of the millennium and the subsequent rise in oil prices. In the pursuit of energy sovereignty and alternatives to petroleum, a brief boom in the production of biofuels and agrofuels emerged, with repercussions reflected in the global trend of rising food prices (Rubio, 2008; Holt-Giménez & Raj, 2010).

In the global market, the control of major transnational corporations was consolidated under the dominance of financial capital in the process of global accumulation. Industrial transnationals came to control the profitable segments of productive structures in both core and peripheral countries, while agri-food transnationals gained full control over global food production—still operating under an exclusionary model of labor exploitation, encompassing both wage and peasant labor, with wage levels regulated through extra-economic mechanisms, in a context marked by the retreat of organized resistance from subordinate classes (Rubio, 2012).

This was accompanied by a structural rise in violence across multiple dimensions. In Mexico, this translated into a sustained increase in homicides, with the number tripling between 2003 and 2023 (INEGI, 2024)—a trend similarly observed in several Latin American and Caribbean countries, including Chile, Costa Rica, El Salvador, Haiti, and Uruguay (World Bank, 2025). This surge in violence stemmed from the actions of criminal organizations and their subsequent confrontations with national governments, as exemplified by Mexico's so-called "War on Drugs," launched in 2006 (Jiménez, 2024). The result was a scenario of systemic chaos, characteristic of periods of transition.

27 constitucional en 1992, orientada a la privatización de tierras, y en la entrada en vigor del TLCAN en 1994.

Las condiciones políticas y sociales de Michoacán permitieron que este movimiento tuviera un auge importante, y los principales actores demandantes de apoyos de gobierno para la autonomía productiva fueron productores de agroexportables, por tanto, más que un fortalecimiento de la producción para el mercado nacional, se fortalecieron los negocios de agroexportación (Barón y Hernández, 2020).

Crisis neoliberal y expansión de la agroexportación

En este periodo se configuraron las condiciones para la expansión y sostenimiento de dos décadas de producción regional de frutillas en Michoacán. El contexto en el que se desarrolló fue el siguiente.

La crisis de hegemonía estadounidense se agudizó por el crecimiento económico de China e India, principalmente, aunque Estados Unidos sostuvo la hegemonía financiera por la presencia del dólar como principal moneda de cambio internacional. Esta crisis se evidenció con la guerra de Irak a inicios del milenio y el consecuente aumento de los precios del petróleo. En la búsqueda de soberanía energética y de sustitutos petroleros, comenzó un breve auge de la producción de bio y agrocombustibles, con consecuencias reflejadas en la tendencia global al incremento del precio de los alimentos (Rubio, 2008; Holt-Giménez & Raj, 2010).

En el mercado mundial se consolidó el control de las grandes corporaciones transnacionales, bajo la batuta del capital financiero en la acumulación global; las transnacionales industriales controlaron la estructura productiva rentable en los países centrales y periféricos; en tanto que, las transnacionales agroalimentarias obtuvieron control pleno de la producción alimentaria global, aun sostenidas bajo el modelo excluyente de explotación del trabajo obrero y campesino, con la regulación extraeconómica de los niveles salariales, en un contexto de reflujo de la respuesta organizada de las clases subalternas. (Rubio, 2012)

Esto se acompañó de un incremento estructural de la violencia en diversas dimensiones, que en México derivó en un aumento sostenido de los homicidios, número que se triplicó entre 2003 y 2023 (INEGI, 2024), tendencia similar presentada en varios países latino-

Dispossession became the primary mechanism for profit-making, through increasingly aggressive strategies for exploiting natural resources and labor. These included open-pit mining; the exploration and extraction of fossil fuels; large-scale infrastructure projects for energy and communications; genomic privatization; the expansion of urbanization and tourism ventures; the appropriation of the electromagnetic spectrum; and the concentration of agricultural land. All of this unfolded alongside a rise in natural disasters and the territorial control exercised by criminal groups primarily involved in drug production and trafficking (Bartra, 2016).

Amid this context of declining profit rates, the food crisis emerged, driven by the interplay between financial and productive capital. The mechanism at play consisted of a fictitious rise in food prices caused by a temporary drop in food supply—due to climate events, for example—combined with the fall in industrial profitability and the flight of financial capital into the food sector through the financialization of commodities (Rubio, 2008). A key feature of this process is that food prices do not decline even when real production conditions improve and energy prices stabilize (Holt-Giménez & Raj, 2010). This mechanism was first seen in 2007–2008 during the U.S. housing crisis and reappeared in 2022–2023 with the Russia–Ukraine war, producing devastating effects on low-income populations in the peripheries—especially Indigenous communities—thus generating a multi-class, multi-ethnic impact of the advancing process of accumulation (Bartra, 2016; Rubio, 2008).

Maize, with over 7 million hectares planted during the neoliberal crisis period, was the crop that contributed the most to the value of national agricultural production—though it now accounts for less than 20 % of that value. Sugarcane remained just below, but starting in 2017, avocado became the country's second most valuable crop, accounting for 7 % of total agricultural value. It was followed by pasture and grassland, tomato, sorghum, chili pepper, and agave (SIAP, 2024).

With a food sector increasingly dependent on foreign imports and fragile in terms of domestic production, export-oriented agriculture—driven by transnational corporations—expanded swiftly, particularly in Michoacán.

americanos y caribeños, como Chile, Costa Rica, El Salvador, Haití y Uruguay (Banco Mundial, 2025), con acciones emprendidas por bandas criminales y, luego, en el enfrentamiento de estas bandas con los gobiernos nacionales, como ocurrió en México con la denominada “Guerra contra el Narcotráfico”, iniciada en 2006 (Jiménez, 2024). Se configuró un escenario de caos sistémico, característico de las fases de transición.

El despojo se convirtió en el mecanismo principal de obtención de ganancia mediante la vía actividades más agresivas en la explotación de los bienes naturales y la fuerza de trabajo. Entre ellos destacan la minería a cielo abierto, la explotación y exploración de combustibles fósiles, los megaproyectos de infraestructura de comunicaciones y energía, la privatización genómica, el avance de la urbanización y los emprendimientos turísticos, el usufructo del espectro electromagnético y la concentración de tierras agrícolas, acompañado del aumento de desastres naturales y el control territorial de bandas criminales dedicadas, principalmente, a la producción y trasiego de drogas (Bartra, 2016).

En este contexto de caída de las tasas de ganancia se presentó la crisis alimentaria, creada mediante la relación del capital financiero con el productivo, cuyo mecanismo consiste en el incremento ficticio de precios de los alimentos a partir de una caída coyuntural de la oferta alimentaria -por eventos climatológicos, por ejemplo- combinada con una caída de la rentabilidad industrial y el refugio de capitales financieros en el sector alimentario, vía financiarización de “commodities” (Rubio, 2008). Una característica adicional es que los precios alimentarios no se reducen, aunque mejoren las condiciones productivas reales y los precios de energéticos se estabilicen (Holt-Giménez & Raj, 2010). Este mecanismo se presentó en 2007-2008, con la crisis inmobiliaria estadounidense y se repitió en 2022-2023 con la guerra Rusia-Ucrania, con efectos demoledores para la población de menores ingresos de las periferias y, con mayor fuerza, para las poblaciones originarias, configurando un impacto multclasista y multiétnico del avance de la acumulación (Bartra, 2016, Rubio 2008).

El maíz, con más de 7 millones de hectáreas sembradas durante el periodo de crisis neoliberal, fue el cultivo que más aportó al valor de la producción agrícola del país, sin embargo, ahora con menos del 20 % del valor nacional. Debajo se sostuvo la caña de azúcar, pero a partir de 2017, el aguacate se colocó como

Between 2003 and 2023, avocado accounted for an annual average of 40 % of the value of Michoacán's agricultural production, while maize contributed only 11 %. Together, these two crops occupied 53.8 % of the cultivated area. They were followed by berries: blackberry (8 % of state production value), strawberry (7 %), raspberry (1.3 %), and blueberry (1.1 %), which together accounted for 17.5 % of the state's production value but only 1.4 % of the cultivated area. Lemon and tomato also stood out for their export orientation (SIAP, 2024).

This crop-based concentration of value was also accompanied by a spatial concentration, giving rise to the regional berry agro-export configuration. In 2003, only two types of berries were cultivated—blackberry and strawberry—and 69 % of the state's berry-cultivated area was concentrated in seven contiguous municipalities. By 2023, berry production had expanded to include blueberries and raspberries, and the regional configuration extended to incorporate seven additional municipalities, concentrating more than 80 % of the state's berry-growing area. As a result, in 2023, only the municipalities of Zamora and Los Reyes each recorded an annual production value exceeding MX\$150 million. However, that same year, Los Reyes, Jacona, and Tangancícuaro each registered more than MX\$1 billion in annual production value, while Zamora alone surpassed MX\$2 billion annually (Figure 1).

The high level of berry crop concentration in a small group of municipalities was driven by the adoption of new technologies and the orientation toward international commercialization of fresh berries. This shift completely severed the link with both the post-war agroindustrial model and the neoliberal agroindustry of the 1980s and 1990s. The new regime was defined by the sophistication of packaging systems, cold supply chains, and the consolidation of foreign input supply for export agriculture. Production remained in the hands of regional wage-dependent growers operating under contract farming arrangements, which deepened the subordination of agricultural activity to the imperatives of industrial and commercial capital accumulation (Hernández, 2015).

Moreover, a process of rent value containment took place. For example, between 2012 and 2019, annual land rent per hectare for berry production in the Zamora Valley and Ziracuaretiro–Tangancícu-

el segundo cultivo del país con mayor aportación al valor agrícola nacional, con 7 %; y el siguiente cultivo preponderante fueron pastos y praderas, seguidos del tomate rojo, sorgo, chile verde y agave (SIAP, 2024).

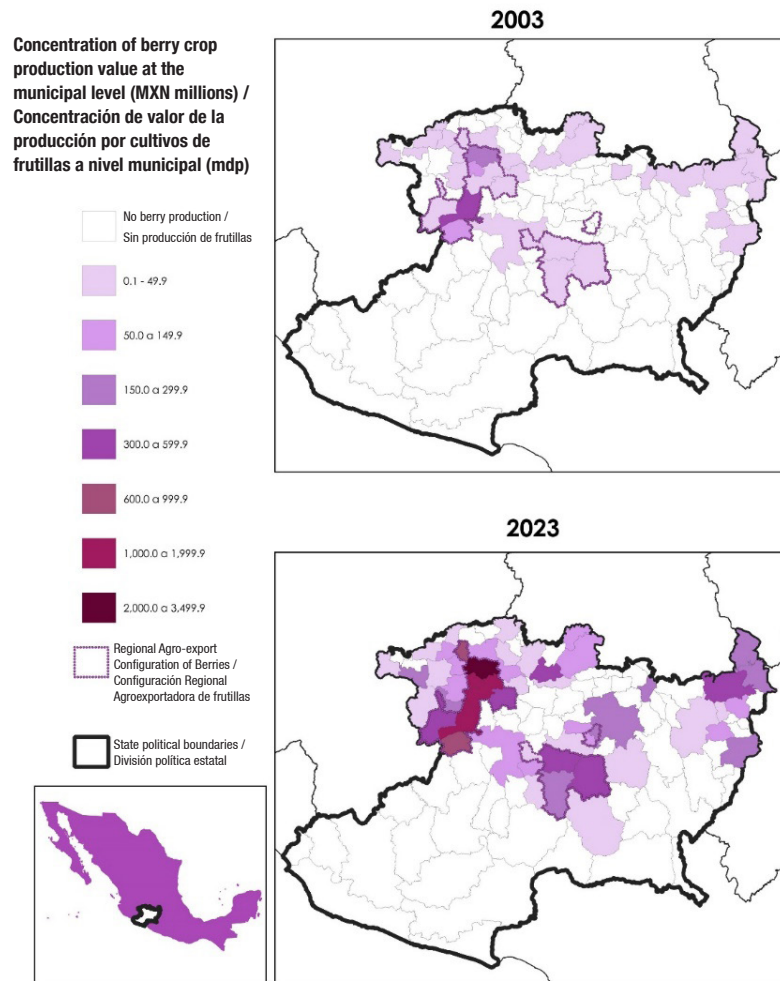
Con un sector alimentario cada vez más dependiente del exterior y frágil en términos productivos nacionales, la agricultura de exportación comandada por las transnacionales se expandió con gran facilidad, especialmente en Michoacán.

En este periodo, 2003-2023, en promedio anual, el aguacate reunió el 40 % del valor de la producción de la estructura productiva agrícola michoacana y el maíz sumó apenas 11 %; ambos cultivos concentraron el 53.8 % de la superficie sembrada. A estos le siguieron las frutillas: zarzamora (8 % del valor estatal), fresa (7 %), frambuesa (1.3 %) y arándano (1.1 %), que concentraron el 17.5 % del valor de la producción estatal y 1.4 % de la superficie sembrada. El limón y el jitomate también destacan por su orientación al mercado exterior (SIAP, 2024).

Esta concentración del valor en cultivos también se constituyó por una concentración espacial, creando la configuración regional agroexportadora de frutillas. En 2003 se registró la superficie sembrada sólo de dos frutillas: la zarzamora y la fresa; y en siete municipios contiguos se concentró 69 % de la superficie sembrada estatal. Para 2023, la producción de frutillas incluyó arándano y frambuesa, y la configuración regional se expandió para integrar otros siete municipios y concentrar más del 80 % de la superficie estatal de frutilla. Como resultado, en 2023 solo los municipios de Zamora y los Reyes superaban un valor de la producción mayor a los 150 millones de pesos por año cada uno. Sin embargo, para 2023, Los Reyes y Jacona y Tangancícuaro, cada uno concentró un valor de la producción mayor a los mil millones de pesos anuales, en tanto que Zamora, por sí solo, superó los 2 mil millones de pesos anuales (Figura 1).

El alto nivel de concentración del cultivo de frutillas en un grupo de municipios se debió al impulso de nuevas tecnologías y la orientación de la comercialización internacional de estos productos en fresco, rompiendo totalmente el vínculo que se tenía con la agroindustria tradicional de la posguerra y la agroindustria neoliberal de los 80 y los 90, ahora acotada a la sofisticación de empaques, cadenas de transporte en frío y consolidación del abasto de insumos

Figure 1. Concentration of berry production value by municipality in Michoacán, 2003 and 2023
Figura 1. Concentración del valor de la producción de frutillas por municipio en Michoacán, 2003 y 2023



Source: Prepared using data from SIAP. (2024). Agricultural and Food Information System for Consultation 2023. Available at <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>, accessed July 15, 2024.

Fuente: Elaborado con datos de SIAP. (2024). Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta 2023. Disponible en <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>, consultado el 15 de julio de 2024.

aro areas—at the core of Michoacán’s agro-export region—ranged from MX\$27,000 to MX\$36,000. However, in 2019, net profits per hectare exceeded MX\$577,000 for blueberry, MX\$421,000 for raspberry, MX\$384,000 for strawberry, and MX\$66,000 for blackberry (FIRA, 2023).

The capital accumulation pattern of agro-export production in the state was shaped by avocado cultivation, which subordinated berry production. These 14 municipalities in the agro-export region share the following characteristics: they accounted for 40 % of the national value of avocado production and 50 % of

extranjeros para la agricultura de exportación, que siguió a cargo de productores asalariados de la región bajo el mecanismo de agricultura por contrato, que agudizó la subordinación de la actividad agrícola a las necesidades de acumulación industrial y comercial (Hernández, 2015).

Además, se presentó un proceso de contención del valor de la renta. Como muestra, entre 2012 y 2019, el costo de la renta por hectárea para frutillas dentro de las zonas del Valle de Zamora y Ziracuaretiro-Tanganicuaru -en la región agroexportadora michoacana- osciló entre 27 mil y 36 mil pesos anuales, sin em-

the state total; for blackberry, 92 % of the national value and 97 % of the state value; for strawberry, 46.5 % and 79 %, respectively; for raspberry, 21.7 % and 98 %; and for blueberry, 31.7 % and 71 % (SIAP, 2024). This indicates that avocado and berry crops were concentrated in the same territories, followed the same market-oriented model, and were subject to similar capital accumulation dynamics, ultimately giving rise to a shared social context.

During these years, agro-export capital expanded across Michoacán, reshaping the territory through a transnationally driven technological strategy of domination. This process subordinated local productive, labor, and social structures, refunctionalizing the role of local producers through contract farming, producer stratification, and the concentration of wage-labor contingents drawn from peasant units (Ayala & Ramírez, 2022).

In line with the dispossession mechanism outlined at the beginning of this section, Latin America underwent a shift from peasant struggles for economic autonomy to struggles over territory—that is, over the physical and symbolic spaces where rural communities sustain their livelihoods and hold their collective assets. These territories have come under threat from large corporations and state actors, with the underlying effect of transforming the social relations of land ownership. As a result, resistance took the form of territorially grounded defense, led by peasants and Indigenous peoples throughout the subcontinent (Bartra, 2016).

This new wave of resistance was rooted in interests aligned with environmental conservation, as well as the defense of agrarian property as both a means of production and a symbolic foundation for territorial cultural identity—conditions that enabled cross-class alliances. The confrontation between transnational capital and territorial collectives yielded several victories against corporations and state actors, but also triggered systematic persecution of territorial defenders, reflected in a wave of assassinations and disappearances (Bartra, 2016). This dynamic intensified in regions like Michoacán, where a new actor emerged: organized crime and drug cartels. Between 2005 and 2023, they unleashed a wave of killings, extortion, and land dispossession in agro-export zones producing avocado, berries, and lemon (Hernández, 2024).

bargo, la utilidad por hectárea en 2019, para arándano fue de más de 577 mil pesos; en frambuesa, de más de 421 mil pesos; en fresa llegó a 384 mil pesos y en zarzamora rebasó los 66 mil pesos (FIRA, 2023).

La pauta de acumulación de capital agroexportador en la entidad y la forma de su configuración marcó el aguacate, subordinando a la producción de frutillas. Cabe destacar que estos 14 municipios de la región agroexportadora cuentan con las siguientes características: aportaron 40 % del valor de la producción nacional de aguacate y 50 % del valor de la producción estatal; en zarzamora, aportaron 92 % del valor nacional y 97 % del valor estatal; en fresa, 46.5 % del valor nacional y 79 % valor estatal; en frambuesa, 21.7 % del valor nacional y 98 % del valor estatal; y en arándano, 31.7 y 71 %, respectivamente (SIAP, 2024). Esto muestra que los cultivos de aguacate y frutillas se concentraron en los mismos lugares, además de que compartieron el mismo modelo de mercado, junto con un proceso de acumulación de capital similar, que dio como resultado la construcción de un contexto social compartido.

En estos años, el capital agroexportador se desplegó en Michoacán y transformó el territorio sobre la base de una estrategia tecnológica de dominio impulsada por las transnacionales, con efectos de subordinación de estructuras locales productivas, laborales y sociales, que refunctionalizó la participación de productores locales mediante agricultura por contrato, estratificación de productores y concentración de contingentes de fuerza de trabajo asalariada de unidades campesinas (Ayala & Ramírez, 2022).

Correspondiente al mecanismo de despojo referido al inicio de este apartado, en Latinoamérica se transitó de la lucha campesina por la autonomía económica hacia la lucha por el territorio, es decir, la lucha por el espacio donde las comunidades rurales cuentan con su patrimonio y desarrollan su vida cotidiana, amenazada por grandes corporaciones y gobiernos, que de fondo tiene como resultado la modificación de las relaciones de la propiedad social de la tierra. En consecuencia, la resistencia se conformó como una defensa territorializada encabezada por los campesinos e indígenas del subcontinente (Bartra, 2016).

La nueva resistencia tuvo una base formada por los intereses de conservación de la naturaleza, seguidos por la preservación de una propiedad agraria que

This form of territorial struggle also took root in Michoacán. Its clearest expression was the emergence of the *autodefensas* (self-defense groups) in rural areas shaped by dominant agro-export capital, particularly in lemon and avocado zones. Other environmentally motivated struggles, tied to confrontations with criminal groups and the expansion of avocado cultivation, took place in the region known as the Purhépecha Plateau—adjacent to the berry-producing region—in the Indigenous community of Cherán (Gasparello, 2018). In contrast, in the berry-producing region, resistance was virtually absent and largely confined to marginal academic efforts aimed at analyzing and denouncing the harmful impacts of berry expansion—especially strawberry—in the Zamora Valley.

Figure 2 shows the changing spatial patterns of homicide-related deaths in Michoacán between 2003 and 2023. It highlights the increase in homicide rates over the period, particularly their concentration in areas with significant agro-export activity—specifically in berry and avocado-producing regions (in the west and northwest) and in lemon-producing areas (in the southwest).

Conclusions

The expansion and consolidation of a regional berry-producing configuration in Michoacán took place amid the crisis and transition phase of the neoliberal agricultural model—a phase that remains ongoing. This period is characterized by systemic chaos, still upheld by an exclusionary model based on wage precarization. Capital accumulation advances through dispossession, led by large transnational corporations, often backed by the governments in power. A structural feature of this phase is the rise in violence, closely tied to the growing presence of criminal groups that control and profit from the territory.

This form of berry-focused agro-export capital, in its restructuring to conform to the characteristics of neoliberal agriculture, was only able to integrate in a subordinate manner into the more advanced avocado-based agro-export capital. This latter sector, in turn, belongs to a subordinate layer of agro-food capital, whose strength lies in its control over global grain production and marketing, under the hegemony of financial capital.

sirve como medio de producción y aglutinante simbólico de la representación cultural del territorio, lo que permitió alianzas interclasistas. La confrontación entre capitales transnacionales y agrupaciones territoriales resultó en varios triunfos frente a las corporaciones y gobiernos, pero desató una constante persecución de defensores y defensoras del territorio, reflejado en la ola de asesinatos y desapariciones de esos actores (Bartra, 2016). Esta situación se agudizó en los espacios como Michoacán donde también confluyó otro actor: el crimen organizado o los cárteles de la droga, que provocó una ola de asesinatos, extorsión y despojo de tierras entre 2005 y 2023 en zonas agroexportadoras de aguacate, frutillas y limón (Hernández, 2024).

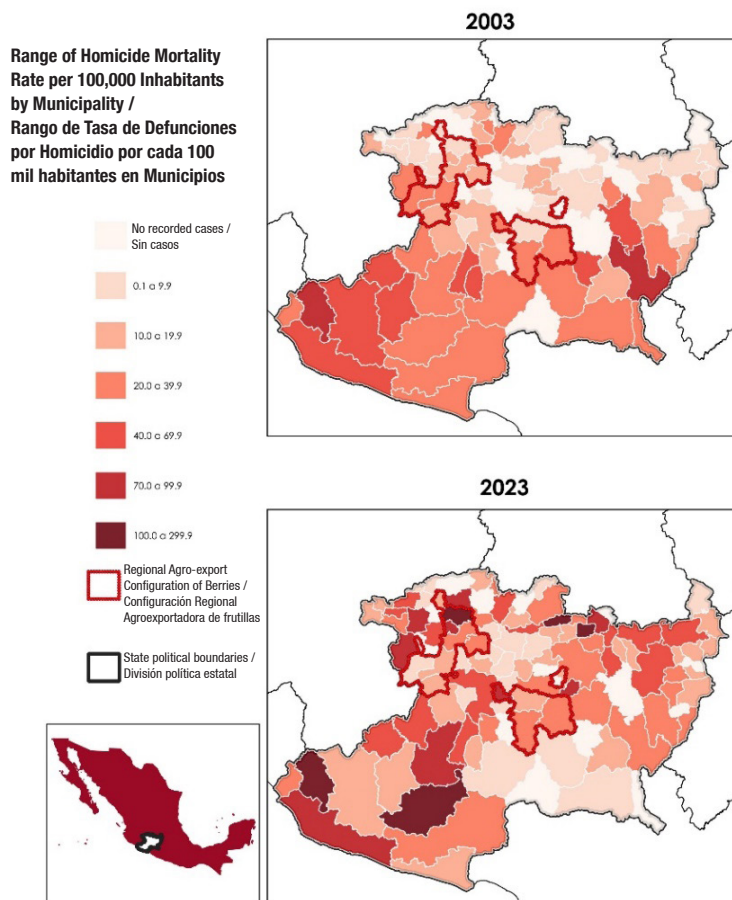
Esta forma de lucha territorial estuvo presente en el territorio michoacano. Su expresión más clara fue la conformación de las “autodefensas”, surgidas en espacios rurales de influencia del capital agroexportador de punta (limón y aguacate). Otras luchas de corte ambiental ligadas al enfrentamiento con bandas criminales y con la expansión del aguacate, se presentaron en la región denominada la Meseta Purhépecha, contigua a la región agroexportadora de frutillas, en el pueblo indígena de Cherán (Gasparello, 2018). Sin embargo, en la región frutillera, la resistencia fue prácticamente nula y en su mayoría acotada a la actividad minoritaria de la academia en el análisis y denuncia de los impactos nocivos del avance de las frutillas, especialmente la fresa, en la región del Valle de Zamora.

En la Figura 2 puede observarse la modificación de los patrones espaciales de incidencia de defunciones por homicidio en Michoacán entre 2003 y 2023, donde destaca el ascenso de las tasas durante el periodo, pero en particular, la alta concentración en zonas con importante actividad agroexportadora tanto dentro de las configuraciones espaciales productoras de frutillas y aguacate (entre el occidente y noroccidente) y de limón (al suroccidente).

Conclusiones

La expansión y consolidación de una configuración regional de frutillas en Michoacán se presentó en el marco de la fase de crisis y transición del modelo de agricultura neoliberal, que aún no concluye. Esta fase se caracteriza por un caos sistémico, aun sostenido

Figure 2. Homicide mortality rate per 100,000 inhabitants at the municipal level in Michoacán, 2003 and 2023.
Figura 2. Tasa de defunciones por homicidio por cada 100 mil habitantes a nivel municipal en Michoacán, 2003 y 2023.



Source: Own elaboration based on data from INEGI (2024). "Homicide Deaths," in Statistics on Registered Deaths. Available at https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/continuas/mortalidad/defuncioneshom.asp?s=est&c=28820&proy=mortgral_dh, accessed July 10, 2024; INEGI (2024A). "2000 and 2005 Population and Housing Censuses and Counts," in Censuses and Counts. Available at <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/cpvsh/>, accessed July 17, 2024; and CONAPO (2024). "Reconstruction and Projections of the Population of Mexico's Municipalities." Available at <https://www.gob.mx/conapo/articulos/reconstruccion-y-proyecciones-de-la-poblacion-de-los-municipios-de-mexico>, accessed October 1, 2024.

Fuente: Elaboración propia con datos de: INEGI (2024). "Defunciones por homicidio," en Estadísticas de Defunciones Registradas. Disponible en https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/continuas/mortalidad/defuncioneshom.asp?s=est&c=28820&proy=mortgral_dh consultado el 10 de julio de 2024; INEGI (2024A). "Censos y Conteos de Población y Vivienda 2000 y 2005," en Censos y Conteos. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/cpvsh/>, consultado el 17 de julio de 2024; y CONAPO (2024). "Reconstrucción y proyecciones de la población de los municipios de México." Disponible en <https://www.gob.mx/conapo/articulos/reconstruccion-y-proyecciones-de-la-poblacion-de-los-municipios-de-mexico>, consultado el 1 de octubre de 2024.

The expansion of berry cultivation over the past two decades is rooted in the very conditions of devastation that have characterized the Mexican and Michoacán countryside—conditions that have increasingly undermined the capacity of both peasant and wage-earning producers to reproduce their productive units. This disarticulation has also fractured their collective organizational capacities, which are further

sobre la base del modelo excluyente de precarización salarial, en el que avanza la acumulación por la vía del despojo encabezado por las grandes corporaciones transnacionales, muchas veces con el respaldo de los gobiernos en turno; y un rasgo estructural es el aumento de la violencia, que va de la mano de la mayor presencia de bandas criminales controlando y usufructuando el territorio.

threatened by the pervasive violence in the region, driven by the presence of criminal gangs.

In line with the objective of this research—to present the historical context through the main patterns of capital accumulation in rural areas and the key actors involved—rural resistance to the consolidation of the regional berry-producing configuration has been notably absent. This can be attributed to two main factors. First, the specific features of the new peasant movement, which has taken shape around localized, cross-class forms of territorial defense. Second, the fact that the most decisive resistance has been directed toward the crop most closely associated with advanced agro-export capital—avocado—whose capacity for expansion, territorial control, and resource devastation has had a far greater impact on the region.

End of English version

References / Referencias

- Altwater, E. (2017 [1972]). "Algunos problemas del intervencionismo estatal" en Alberto Bonnet y Adrián Piva (compiladores), *Estado y Capital. El debate alemán sobre la derivación del Estado*. (Pp.: 241-305). Argentina: Ediciones Herramienta.
- Altwater, E., & Hoffmann, J. (2017). "El debate sobre la derivación del estado en Alemania Occidental: la relación entre economía y política como un problema de la teoría marxista del estado" en Alberto Bonnet y Adrián Piva (compiladores), *Estado y Capital. El debate alemán sobre la derivación del Estado*. (Pp.: 47-80). Argentina: Ediciones Herramienta.
- Ayala, E., & Ramírez, C. (2022). "Concentración del capital agroexportador transnacional y reconfiguración regional en Michoacán, México", *Revista Geografía Agrícola*, número 69, pp.: 9-36. DOI:10.5154/r.rga.2022.69.01
- Banco Mundial (2025). "Homicidios intencionales (por cada 100 mil habitantes)", en *Datos de Libre Acceso del Banco Mundial*, en <https://datos.bancomundial.org/indicador/VC.IHR.PSRC.P5?nd=2020&start=2003&view=chart>, consultado el 13 de mayo de 2025.
- Bartra, A. (1977). "Seis años de lucha campesina", *Investigación Económica*, Vol. 36. No. 141, (Pp.: 157-209). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bartra, A. (2016). "Tierra indómita: la defensa del patrimonio" en A. Bartra, C. Porto-Gonçalves y M. Betancourt Santiago, *Se hace terreno al andar. Las luchas en defensa del territorio*, (Pp.: 11-130). México: Itaca-UAM Xochimilco.

Este tipo de capital agroexportador dedicado a las frutillas, en su reestructuración para alinearse a las características de la agricultura neoliberal, sólo logró integrarse de manera subordinada a los capitales de agroexportación de punta concentrados en el cultivo de aguacate, que a su vez forman parte de una capa subordinada de los capitales agroalimentarios, los cuales concentran su fortaleza en el control de la producción y comercialización de granos a nivel global, mediante la batuta del capital financiero.

El avance del cultivo de frutillas durante 20 años se explica por las propias condiciones de devastación del campo mexicano y michoacano, cada vez con menor capacidad de reproducir las unidades productivas campesinas y de los productores asalariados, lo que a su vez fractura sus capacidades organizativas que, adicionalmente, se ven amenazadas por los altos niveles de violencia en la región, encabezados por bandas criminales.

En cuanto al objetivo de esta investigación, sobre la exposición del contexto histórico mediante las principales tendencias de acumulación de capital en el campo y los principales actores involucrados, destaca que la resistencia de los actores rurales ante la consolidación de la configuración regional de frutillas es prácticamente nula principalmente por dos razones: las propias características del nuevo movimiento campesino, orientado a la defensa territorial de carácter puntual y transclasista; la segunda razón es que la mayor resistencia está dirigida al cultivo identificado como el capital agroexportador de punta, cuya capacidad de expansión, control territorial y devastación de recursos es de mayor impacto: el aguacate.

Fin de la versión en español

- Barón, L., & Hernández, J. C. (2020). "De la Reproducción Ampliada a la Acumulación por Desposesión: Introducción y Desarrollo del Capital Fresero en el Valle Zamora", *Textual*, número 76, pp.: 75-102. DOI: 10.5154.r.textual.2020.76.04.
- Blanke, B., Jürgens, U., & Kastendiek, H. (2017 [1973]). "Acerca de la reciente discusión marxista sobre el análisis de la forma y función del estado burgués. Reflexiones sobre la relación entre política y economía", en Alberto Bonnet y Adrián Piva (compiladores),

- Estado y Capital. El debate alemán sobre la derivación del Estado.* (Pp.: 589-655). Argentina: Ediciones Herramienta.
- Bonnet, A. (2016). "El concepto de Estado capitalista en el pensamiento de Poulantzas", *Revista Herramienta. Revista de Debate y Crítica Marxista*. Disponible en <https://www.herramienta.com.ar/el-concepto-de-estado-capitalista-en-el-pensamiento-de-poulantzas>
- CONAPO [Consejo Nacional de Población] (2024). "Reconstrucción y proyecciones de la población de los municipios de México". Disponible en <https://www.gob.mx/conapo/articulos/reconstruccion-y-proyecciones-de-la-poblacion-de-los-municipios-de-mexico>, consultado el 1 de octubre de 2024.
- CONEVAL [Consejo Nacional de Evaluación de la Política Social]. (2024). "Pobreza por grupos poblacionales a escala municipal 2010, 2015, 2020", en *Medición de la Pobreza*, Disponible en https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Pobreza_grupo_poblacionales_municipal_2010_2020.aspx, consultado el 1 de agosto de 2024.
- Contreras, L., & Ramírez, C. (2024). "Reestructuración de la agricultura de Estados Unidos en Michoacán, relocalización y límites socio-ecológicos", en Miriam Núñez y César Adrián Ramírez (Compiladores), *Transformaciones del espacio rural en México. Escenarios regionales y tendencias*. (Pp.: 245-273), México: Universidad Autónoma Chapingo.
- FIRA [Fideicomisos Instituidos con Relación al Campo] (2023). "Agrocostos", disponible <https://www.fira.gob.mx/Nd/Agrocostos.jsp>
- Gasparello, G. (2018). "Análisis del Conflicto y de la Violencia en Cherán, Michoacán", en *Relaciones Estudios de Historia y Sociedad*, No. 155, pp.: 77-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.24901/rehs.v39i155.289>
- Gracida, E. (2004). "El Desarrollismo", en *Historia Económica de México*, Tomo 5. Enrique Semo (coordinador). México: Océano-UNAM.
- Hernández, J.C. (2015). *De la Reproducción Ampliada a la Acumulación por Desposesión: Introducción y Desarrollo del Capital Freseo en el Valle Zamorano*. Tesis del Programa de Maestría en Desarrollo Rural Regional. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Hernández, J. C. (2024). *Región, Política y Acumulación: La Agroexportación de Frutillas Michoacanas en la Crisis Neoliberal 2003-2023*. Tesis del Programa de Doctorado en Desarrollo Rural Regional. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Hirsch, J. (2017). "Retrospectiva sobre el debate" en Alberto Bonnet y Adrián Piva (compiladores), *Estado y Capital. El debate alemán sobre la derivación del Estado*. (Pp.: 27-37). Argentina: Ediciones Herramienta.
- Hirsch, J. (2017A [1978]). "El aparato de estado y la reproducción social: elementos para una teoría del estado burgués", en Alberto Bonnet y Adrián Piva (compiladores), *Estado y Capital. El debate alemán sobre la derivación del Estado*. (Pp.: 509-588). Argentina: Ediciones Herramienta.
- Holloway, J., & Picciotto, S. (2017). "Hacia una teoría materialista del estado" en Alberto Bonnet y Adrián Piva (compiladores), *Estado y Capital. El debate alemán sobre la derivación del Estado*. (Pp.: 81-125). Argentina: Ediciones Herramienta.
- Holt-Giménez, E., & Raj P. (2010). "Primera parte: La verdadera historia detrás de la crisis alimentaria mundial". En *Rebeliones alimentarias. Crisis y hambre de justicia*, (Pp.: 4-79). España, Editorial El Viejo Topo.
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía] (2024). "Defunciones por homicidio", en *Estadísticas de Defunciones Registradas*. Disponible en https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/continuas/mortalidad/defuncioneshom.asp?s=est&c=28820&proy=mortgral_dh, consultado el 10 de julio de 2024.
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía] (2024A). "Censos y Conteos de Población y Vivienda 2000 y 2005", en *Censos y Conteos*. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/cpvsh/>, consultado el 17 de julio de 2024.
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía] (2010). *Compendio de Información Geográfica Municipal 2010. Michoacán de Ocampo*. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825293048>, consultado el 15 de mayo de 2025.
- Jiménez, E. (mayo 8, 2024). "Necropolítica o la 'administración de la guerra': así fue la estrategia de Calderón y García Luna contra el narco", en Infobae. <https://www.infobae.com/mexico/2024/05/08/necropolitica-o-la-administracion-de-la-guerra-asi-fue-la-estrategia-de-calderon-y-garcia-luna-contr-el-narco/>
- McMichael, P. (2009). "A Food Regime Genealogy". En *The Journal of Peasant Studies*. Vol. 36, No. 1. (Pp.: 139-169). Reino Unido: Routledge. DOI: 10.1080/03066150902820354
- McMichael, P. (2015). *Regímenes alimentarios y cuestiones agrarias*. México. UAZ-MA Porrúa
- Rubio, B. (1987). *Resistencia Campesina y Explotación Rural en México*. México: Ediciones Era.
- Rubio, B. (1996). "Las organizaciones independientes en México: semblanza de las opciones campesinas ante el proyecto neoliberal", Huber Carton de Grammont, *Neoliberalismo y organización social en el campo mexicano*, (Pp.: 113-163). México: Plaza y Valdés Editores.
- Rubio, B. (2006). "Voces de la desesperanza: La desestructuración alimentaria en México (1994-2004)" en *Gaceta Laboral*, Vol.12. No 1. Enero-abril de 2006, (Pp.:71-92). Venezuela: Universidad de Zulia.

- Rubio, B. (2008). "El movimiento campesino mexicano frente a la crisis alimentaria (2007-2008)" en Beatriz Cavalloti et. Al. (coord.), *Reserva Estratégica de Alimentos: una alternativa para el desarrollo del campo mexicano y la soberanía alimentaria*, (Pp.: 17-33). México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Rubio, B. (2012). *Explotados y excluidos. Los campesinos latinoamericanos en la fase agroexportadora neoliberal*. 4a Ed. México: Plaza y Valdés.
- SIAP. (2024). Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta 2023. Disponible en <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>, consultado el 15 de julio de 2024.
- Valenzuela, J. (2016). *¿De la Crisis Neoliberal al Nacionalismo Facistoide? México y Estados Unidos*. México: Centro de Estudios para el Desarrollo Alternativo.
- Wirth, M. (2017). "Acerca de la crítica de la teoría del capitalista monopolista de estado" en Alberto Bonnet y Adrián Piva (compiladores), *Estado y Capital. El debate alemán sobre la derivación del Estado*. (Pp.: 401-439). Argentina: Ediciones Herramienta.



Description and perception of traditional charcoal production in the Sierra de Zongolica, Veracruz, Mexico: A qualitative study

Miguel Ángel Vega Ortega¹
Gregorio Hernández Salinas²
Sergio Ignacio Gallardo Yobal¹
Claudia Ivett Contreras Hernández^{1*}

Abstract

Wood is an important source of bioenergy in rural areas. Traditional charcoal production has been declining as a result of a dwindling workforce and limited availability of suitable trees. The aim of this study was to analyze charcoal production in the Sierra de Zongolica, focusing on the people involved, the production process, commercialization, and future outlook for this activity. The research was conducted using a qualitative approach, grounded theory, and ethnographic methods such as semi-structured interviews. Participants were selected through non-probabilistic sampling using the snowball sampling. A total of 64 interviews were conducted with key individuals involved in the production process (using traditional brick kiln for charcoal production) and the commercialization of charcoal, including interviews with landowners, charcoal producers, and merchants. Eight tree species were identified (*Pinus patula*, *Alnus acuminata*, *Arbutus* sp., *Quercus laurina*, *Quercus crassifolia*, *Quercus calophylla*, *Quercus rugosa*, and *Quercus affinis*), with the genus *Quercus* being particularly valued for its high calorific content. Charcoal is marketed in a variety of contexts: producers sell to intermediaries within their local communities; both producers and intermediaries sell in nearby cities such as Córdoba and Orizaba; and intermediaries also distribute it to more distant markets in Puebla and Morelos. According to the charcoal producers, there is a clear downward trend in charcoal production. They attribute this decline to a shortage of suitable trees caused by overexploitation, which has forced many to seek alternative sources of income, such as crafting rustic furniture from pine wood.

Keywords: Agroforestry, rural livelihoods, useful trees, traditional management, rural peasant economy.

Descripción y percepción de la producción tradicional de carbón vegetal en la sierra de Zongolica, Veracruz, México: Un estudio cualitativo

Resumen

La madera es una fuente importante de bioenergía en el medio rural. La producción tradicional de carbón vegetal ha ido disminuyendo debido a la falta de mano de obra y escasez de árboles. El objetivo de este trabajo fue analizar la producción de carbón vegetal en la sierra de Zongolica, considerando a las personas involucradas, el proceso productivo, la comercialización y las perspectivas a futuro de esta actividad. La investigación se desarrolló desde un enfoque cualitativo, con base en la teoría fundamentada y mediante uso de métodos etnográficos como entrevistas semiestructuradas. Los entrevistados se seleccionaron mediante un muestreo no probabilístico, con la técnica de bola de nieve. Se realizaron un total de 64 entrevistas a personas clave en el proceso de producción (con horno rústico tipo campana) y comercialización de carbón, entre los que se encuentran dueños de parcelas, carboneros y comerciantes. Se identificaron ocho especies de árboles (*Pinus patula*, *Alnus acuminata*, *Arbutus* sp., *Quercus laurina*, *Quercus crassifolia*, *Quercus calophylla*, *Quercus rugosa* y *Quercus affinis*), el género *Quercus* es valorado por su alto poder calorífico. La comercialización se realiza en diferentes escenarios; los productores venden a intermediarios en la comunidad de origen, productores e intermediarios comercializan en ciudades cercanas como Córdoba y Orizaba, así como, intermediarios lo venden en Puebla y Morelos. Según los carboneros, existe una tendencia clara de una disminución de la producción de carbón vegetal, específicamente mencionan que es por la falta de árboles para trabajar causada por la sobreexplotación, obligándoles a otras actividades económicas como la elaboración de muebles rústicos de madera de pino.

Palabras clave: Agroforestería, medios de vida rurales, árboles útiles, manejo tradicional, economía campesina.

¹ Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico Superior de Zongolica. km 4 carretera a La Compañía s/n, Tepetitlanapa, Zongolica. C. P. 95005, Veracruz.

² Tecnológico Nacional de México. Innovación Agrícola Sustentable. km 4 carretera a La Compañía s/n, Tepetitlanapa, Zongolica. C. P. 95005, Veracruz.

*Corresponding author: claudiacontrerashernandez@gmail.com ORCID ID: 0009-0008-3710-9671.

Introduction

Wood-derived energy is the primary source of bioenergy worldwide, accounting for approximately 12 % of total energy production. This corresponds to about 1863 million cubic meters of firewood and charcoal annually (FAO, 2017). Dependence on this energy source is even greater in rural areas, where it constitutes the main form of energy; around 2.4 million people rely exclusively on it for cooking and keeping warm, contributing up to 50 % of the energy supply in 29 countries, primarily in Africa and Latin America (FAO, 2017; Naeher et al., 2007).

The increasing demand for dendroenergy products places this activity within a new global context, where its role as an energy source contrasts with its potential environmental and social consequences. Although considered a renewable resource, intensive use can cause negative environmental impacts, as it is a major emitter of greenhouse gases (GHGs) and is linked to respiratory health problems, especially in settings where inadequate technologies are used (Masera et al., 2011; Naeher et al., 2007).

In Mexico, accurate data on the production and consumption of dendroenergy (charcoal and firewood) are scarce, as most harvesting is conducted without official permits in rural communities, where wood is primarily used for subsistence (Mwampamba et al., 2013). It is estimated that approximately 38.5 million cubic meters of wood are harvested annually for energy purposes, with 24 million cubic meters allocated to the domestic sector and 6 million cubic meters to the commercial sector, accounting for 8.7 % of the country's total energy consumption (FAO, 2017).

In Mexico, most dendroenergy production relies on wood from different species of the genus *Quercus* and mesquite trees (*Prosopis* spp.). Charcoal production is important in rural communities, as it supports local livelihoods (Zulu & Richardson, 2013). However, dendroenergy production systems have been understudied due to the site-specific nature of their productive and cultural dynamics (Mwampamba et al., 2013).

Since pre-Hispanic times, the Sierra de Zongolica has practiced multiple uses of forest resources, including construction, firewood collection, and charcoal production (López Binnqüist et al., 2020). This economic tradition, centered around the sale of charcoal,

Introducción

La energía proveniente de la madera es la principal fuente de bioenergía a nivel mundial, representando el 12 % del total de la energía producida. Esto equivale aproximadamente a 1 863 millones de metros cúbicos anuales de leña y carbón vegetal (FAO, 2017) la dependencia es aún mayor en las zonas rurales, donde constituye la principal fuente de energía; alrededor de 2 400 millones de personas dependen exclusivamente de ella para cocinar y calentarse, aportando hasta el 50 % del suministro energético en 29 países, principalmente en África y Latinoamérica (FAO, 2017; Naeher et al., 2007).

El aumento en la demanda de productos dendroenergéticos sitúa a esta actividad en un nuevo escenario global, en el que su papel como fuente de energía contrasta con sus posibles implicaciones ambientales y sociales. Aunque se considera una fuente renovable, su uso intensivo puede generar impactos negativos en el medio ambiente, ya que es una de las principales emisoras de gases de efecto invernadero (GEI) y se encuentra vinculada a problemas de salud respiratoria, especialmente en contextos donde se emplean tecnologías inadecuadas (Masera et al., 2011; Naeher et al., 2007).

En México, no existen estadísticas precisas sobre los volúmenes de producción y consumo de dendroenergía (carbón y leña), ya que la mayor parte de la producción se realiza sin permisos de aprovechamiento en comunidades rurales, donde la madera se destina principalmente al autoconsumo (Mwampamba et al., 2013). Se estimó que se extraen aproximadamente 38.5 millones de metros cúbicos de madera anuales con fines energéticos, de los cuales 24 millones de m³ se destinan al sector doméstico y 6 millones de m³ al sector comercial, representando el 8.7 % del total de energía consumida en México (FAO, 2017).

En nuestro país, la mayor parte de la dendroenergía se realiza con madera de diferentes especies del género *Quercus* y mezquites (*Prosopis* spp.). La producción de carbón vegetal es vital en las comunidades rurales, ya que contribuye al sostenimiento de los medios de vida (Zulu & Richardson, 2013). Los sistemas que producen dendroenergía han sido poco estudiados debido a que las dinámicas productivas y culturales son específicas para cada sitio en particular (Mwampamba et al., 2013).

has generated both direct and indirect employment and provides supplementary income that helps meet the everyday needs of local communities (López Binnquist et al., 2020). The leading municipalities in charcoal production are Atlahuilco, in Veracruz, and Xoxocotla, each with an estimated production of 156 cubic meters of charcoal (INEGI, 2007).

Since pre-Hispanic times, charcoal has been in demand outside the Sierra. It is commonly used to cook street food, for heating, and in ritual incense burning (Rodríguez-López, 2000). However, because charcoal is produced using protected tree species in Mexico, this activity currently operates outside legal frameworks. In other words, due to the conservation status of these species, there are no official management plans or permits authorizing their harvest.

Low profits and the illegality of charcoal production are among the primary reasons young people show little interest in learning about this activity, placing the region's social and economic dynamics at risk. This raises the following research question: What are the key aspects of charcoal production in the Sierra de Zongolica? The objective of this study is to describe the activity in relation to the production process, the tree species used, and producers' perceptions regarding the future of the activity in the region to support public policy and conservation actions for the species involved.

Methodology

Study area

The Sierra de Zongolica is located in the central region of the state of Veracruz, within the Sierra Madre Oriental. This study encompassed 26 communities situated in the municipalities of San Andrés Tenejapa, Tequila, Zongolica, Atlahuilco, Tlaquilpa, Mixtla de Altamirano, Texhuacan, Soledad Atzompa, and Xoxocotla (Figure 1).

Because charcoal production in the region is considered illegal—lacking registered management plans and permits from federal forestry authorities—communities were selected from municipalities reported to be among the primary producers of charcoal.

The study area exhibits significant altitudinal variation, ranging from 500 meters above sea level in Zongolica to 3000 meters in Xoxocotla. The vegetation types represented in this study include mixed pine-

Desde la época prehispánica, en la sierra de Zongolica se ha llevado a cabo un aprovechamiento múltiple de los recursos forestales, que incluye actividades como la construcción, la obtención de leña y la elaboración de carbón vegetal (López Binnquist et al., 2020). Esta tradición económica, relacionada con la venta de carbón vegetal, ha generado empleos directos e indirectos, además de ofrecer ingresos adicionales que contribuyen a satisfacer las necesidades cotidianas de las comunidades (López Binnquist et al., 2020). Los municipios más destacados en la producción de carbón son Atlahuilco, en Veracruz, y Xoxocotla, ambos con una producción aproximada de 156 m³ de carbón (INEGI, 2007).

El carbón vegetal desde la época prehispánica ha sido demandado fuera de la sierra. Se utiliza para la preparación de platillos en la comida callejera, generación de calor, sahumerios (Rodríguez-López, 2000). Debido a que la producción de carbón vegetal se realiza con especies protegidas en México, esta actividad se encuentra en un estado de ilegalidad. Es decir, debido al nivel de protección de las especies, no existen planes oficiales de aprovechamiento ni autorizaciones para su explotación.

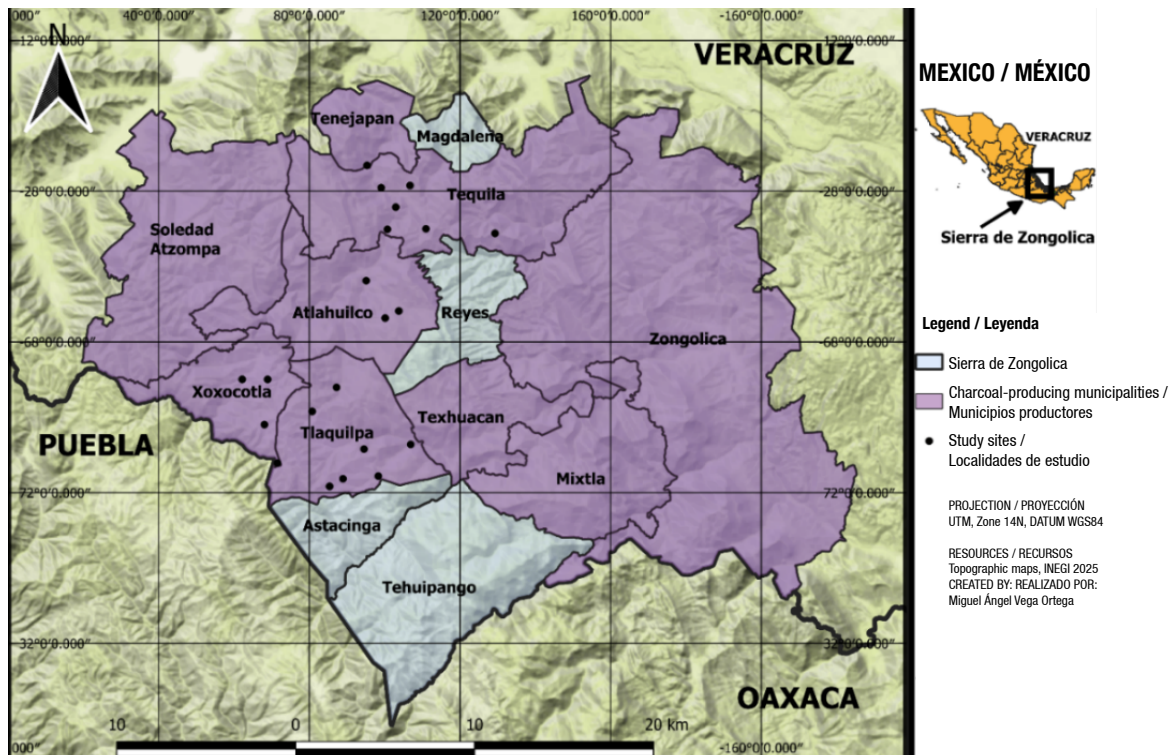
Las escasas ganancias y la ilegalidad de esta actividad representan una de las principales razones por las que los jóvenes muestran poco interés en aprender a producir carbón vegetal, lo que pone en riesgo las dinámicas sociales y económicas de la región. Nos preguntamos: ¿Cuáles son los aspectos relevantes en la producción de carbón vegetal en la sierra de Zongolica? Planteamos como objetivo describir esta actividad en relación con el proceso de producción, las especies utilizadas y las percepciones de los productores sobre el futuro de la actividad en la zona, con el fin de promover políticas públicas y acciones de protección para las especies empleadas.

Metodología

Zona de trabajo

La sierra de Zongolica se encuentra en el centro del estado de Veracruz, en la Sierra Madre Oriental. Este estudio abarcó 26 comunidades ubicadas en los municipios de San Andrés Tenejapa, Tequila, Zongolica, Atlahuilco, Tlaquilpa, Mixtla de Altamirano, Texhuacan, Soledad Atzompa y Xoxocotla (Figura 1). Debi-

Figure 1. Location of the Sierra de Zongolica.
Figura 1. Ubicación de la sierra de Zongolica.



oak forest (*Pinus patula*, *P. ayacahuite*, *P. pseudostrobus*, *Quercus rugosa*, *Q. crassifolia* and *Q. laurina*), and cloud forest (*Liquidámbar* spp., *Magnolia* spp., *Alnus acuminata*, *Carpinus tropicalis* var. *caroliniana*, *Ternstroemia lineata* subsp. *lineata* and *Tilia americana*) (Challenger & Soberón, 1998).

The predominant soil types in the region are Luvisols and Regosols, accompanied by karstic formations of limestone and numerous hills and sinkholes. These landforms result in slopes ranging from 5 % to 30 %, which hinders the use of agricultural machinery for cultivation (Medina-Chena et al., 2010). Zongolica is one of Mexico's most significant Indigenous regions, with a total population of 173 891, of which approximately 73 % speak Náhuatl (Del Val et al., 2008). Land tenure is characterized by smallholder plots, with 77 % of parcels averaging just 3.0 hectares—well below the state average of 9.9 hectares (INEGI, 2007). Charcoal production is carried out in forest fragments within agroforestry plots located on steeper, rockier terrain. These include secondary oak forests, cloud forests, and pine plantations (*Pinus patula*). The activity is sustained through a cyclical, unregulated, low-

do a que la producción de carbón vegetal es una actividad ilegal, ya que carece de planes y permisos de aprovechamiento registrados ante las autoridades forestales federales, se seleccionaron comunidades pertenecientes a los municipios reportados como principales productores de carbón.

La zona presenta una gran variación altitudinal (Zongolica a 500 y Xoxocotla a 3000 msnm). Los tipos de vegetación donde se realizó el presente estudio son: el bosque mixto de pino-encino (*Pinus patula*, *P. ayacahuite*, *P. pseudostrobus*, *Quercus rugosa*, *Q. crassifolia* y *Q. laurina*), y el bosque mesófilo de montaña (*Liquidámbar* spp., *Magnolia* spp., *Alnus acuminata*, *Carpinus tropicalis* var. *caroliniana*, *Ternstroemia lineata* subsp. *lineata* y *Tilia americana*) (Challenger & Soberón, 1998).

Los suelos predominantes en la zona son Luvisoles y Regosoles, acompañados de formaciones kársticas de piedras calizas y numerosas colinas o sótanos. Estas formaciones presentan cerros con pendientes que varían entre el 5 y el 30 %, lo cual dificulta la labranza con maquinaria agrícola (Medina-Chena et al., 2010). Zongolica es una de las regiones indígenas más importantes de México, con una población total de 173 891 ha-

volume harvesting system that includes the periodic collection of timber, oak charcoal, and firewood. These resources are traditionally managed through the harvesting of coppice shoots, known in Náhuatl as *tlaxmoloh* or *tlaxmoli*. As part of this management practice, selective cutting of shoots is performed to promote regrowth, followed by short-term cultivation of *milpa* (traditional cornfields) for two to three years (Vega-Ortega et al., 2025).

Methodological approach and evaluation method

This study is based on qualitative research, specifically grounded theory (Flick, 2015; Palacios Rodríguez, 2021). Ethnographic methods were used, including semi-structured interviews and direct observation (Ander-Egg, 2003). Given that charcoal production operates within an illegal context, participants were selected using the snowball sampling—a non-probabilistic sampling method that involves recruiting study subjects based on referrals from initial participant (Flick, 2015).

Participants were informed of the study objectives and provided their free and informed consent, agreeing to be interviewed either at their homes or workplaces. A total of 64 key individuals involved in the charcoal production process were interviewed, including landowners, merchants, and charcoal producers. Most participants were men aged between 19 and 73 years. The interviews addressed topics such as: (a) information on landowners, (b) the role of charcoal producers in shaping the landscape, (c) the process of charcoal production and commercialization, (d) the species used, and (e) perceptions regarding charcoal production. Interviews were conducted between January and June 2023.

Data analysis

The interview analysis was conducted following the method proposed by Flick (2015) and Rodríguez-Sabiote (2003), which included transcribing the interviews, creating tables to organize the results, and drawing conclusions. This approach allowed for describing the charcoal production process, categorizing the producers, analyzing price dynamics, assessing the role of charcoal producers in shaping the landscape, and evaluating the current state of production in the Sierra de Zongolica. Botanical species were

bitantes, de los cuales aproximadamente el 73 % habla náhuatl (Del Val et al., 2008). La tenencia de la tierra es en pequeña propiedad minifundista, con un 77 % de las parcelas que tienen un promedio de 3.0 hectáreas, por debajo del promedio estatal de 9.9 hectáreas (INEGI, 2007). La producción de carbón vegetal se realiza en fragmentos forestales dentro de parcelas agroforestales ubicadas en áreas de mayor pendiente y pedregosidad, compuestas por bosques secundarios de encino, bosque mesófilo de montaña y plantaciones de pino (*Pinus patula*). Estas actividades se mantienen mediante un aprovechamiento cíclico y no regulado de bajos volúmenes, que incluye la producción periódica de madera, carbón de encino y leña, gestionados tradicionalmente mediante la cosecha de rebrotes, conocidos en náhuatl como “tlaxmoloh o tlaxmoli”. Como práctica de manejo, se realizan cortas selectivas en los rebrotes para promover su crecimiento, y después de la cosecha, se cultiva milpa durante dos o tres años (Vega-Ortega et al., 2025).

Enfoque metodológico e instrumento de evaluación

Este estudio se basa en una investigación cualitativa, especialmente en la teoría fundamentada (Flick, 2015; Palacios Rodríguez, 2021). Se emplearon métodos etnográficos, como entrevistas semiestructuradas y observación directa (Ander-Egg, 2003). Debido a que la producción de carbón vegetal opera en un contexto de ilegalidad, los participantes se seleccionaron mediante la técnica de bola de nieve, un método de muestreo no probabilístico que consiste en reclutar sujetos de estudio a partir de las referencias proporcionadas por los propios participantes iniciales (Flick, 2015).

Los participantes fueron informados sobre los objetivos del estudio y expresaron su consentimiento de manera libre y respetuosa, aceptando ser visitados en sus hogares o en sus lugares de trabajo. Se entrevistaron a 64 personas clave en el proceso de producción de carbón, incluyendo propietarios de parcelas, comerciantes y carboneros. La mayoría fueron hombres cuyas edades oscilaban entre 19 y 73 años. Los temas abordados en las entrevistas incluyeron: (a) información de los propietarios de las parcelas, (b) la importancia de los carboneros en la modelación del paisaje, (c) el proceso de elaboración y comercialización del carbón vegetal, (d) las especies utilizadas y (e) sus percepciones sobre la producción de carbón. Las entre-

identified by their common names and subsequently verified with their scientific names using the ZON Herbarium at the Instituto Tecnológico Superior de Zongolica. To describe the commercialization network, a complex network analysis was performed using the UCINET-NETDRAW 6.3 software (Borgatti et al., 2002). The interpretation of this network was approached from a qualitative research perspective (Flick, 2015).

Results

Producer Typology

A total of 64 interviews were conducted with key respondents representing diverse profiles with specific knowledge and experience related to different stages and processes of this activity. The producers' ages ranged from 20 to 76 years; the age group of 31 to 40 years comprised 16 % of the interviewees, the 41–50 group accounted for 25 %, while those over 50 years represented 48 %. Regarding gender, 62 were men and 2 were women. Informants with at least 40 years of experience totaled 8, and 17 had between 31 and 40 years of experience (Table 1). Additionally, 94 % of participants work with family members, while 6 % work alone or hire others. The most common way to learn charcoal production techniques was through parents, uncles, or grandparents, accounting for 64 % of cases; 28 % were self-taught, and 8 % learned from an employer (Table 1).

Three categories of informants were identified: landowners of plots where the trees are located, the charcoal producers who make the charcoal, and the merchants. These are described in detail below:

1. **Landowners:** These are individuals who own land and can be classified into two subgroups: (a) those who lease their land to individuals responsible for charcoal production, typically receiving 50 % of the profits; (b) those who work their own land to produce charcoal and are also involved in bagging and marketing the product, both within the local community and in other cities.
2. **Charcoal Producers:** This group can be divided into two categories: (a) Experienced producers, who are mostly older adults engaged in this activity full time. They are widely recognized for their extensive knowl-

vistas se llevaron a cabo entre enero y junio de 2023.

Análisis de datos

El análisis de las entrevistas se llevó a cabo siguiendo el método propuesto por Flick (2015) y Rodríguez-Sabiote (2003), que incluyó la transcripción de las entrevistas, la elaboración de tablas para la organización de resultados y la formulación de conclusiones. Esta aproximación permitió describir el proceso de elaboración del carbón vegetal, tipificar a los productores, analizar la dinámica de precios, la importancia de los carboneros en la modelación del paisaje y el estado actual de la producción en la sierra de Zongolica. Las especies botánicas se caracterizaron por su nombre común y, posteriormente, se consultaron sus nombres científicos en el Herbario ZON del Instituto Tecnológico Superior de Zongolica. Para describir la red de comercialización, se realizó un análisis de redes complejas utilizando el software UCINET-NETDRAW 6.3 (Borgatti et al., 2002). La interpretación de esta red se abordó desde la perspectiva de la investigación cualitativa (Flick, 2015).

Resultados

Tipificación de productores

Se realizaron 64 entrevistas a informantes clave, quienes representan diversos perfiles con conocimientos y experiencias específicas relacionadas con las distintas etapas y procesos de la actividad. La edad de los productores osciló entre los 20 y 76 años; el grupo de 31 a 40 años constituyó el 16 % de los entrevistados, el de 41-50 el 25 %, mientras que aquellos mayores de 50 años representaron el 48 %. En cuanto al sexo, 62 fueron hombres y 2 mujeres. Los informantes con al menos 40 años de experiencia sumaron 8, y en el rango de 31 a 40 años se registraron 17 (Cuadro 1). Además, el 94 % de los participantes trabaja con algún familiar, en tanto que el 6 % trabaja solo o contrata personas. La forma más frecuente de aprender las técnicas de elaboración de carbón es a través de padres, tíos o abuelos, con un 64 % de los casos; un 28 % aprendió por cuenta propia y el 8 % lo hizo mediante un empleador (Cuadro 1).

Se identificaron tres categorías de informantes: los propietarios de parcelas donde se encuentran los árboles, los carboneros que elaboran el carbón y los comerciantes. A continuación, se describen en detalle:

Table 1. Social characteristics from the respondents
Cuadro 1. Características sociales de los informantes

Activity / Actividad	Respondents / Informantes	Years of experience / Años de experiencia	Percentage / Porcentaje
Landowner / Dueño de parcela	47	1-10	22
Landowner-Merchant / Dueño-Comerciante	3	11-20	19
Landowner-Charcoal Producer-Merchant / Dueño-Carbonero-Comerciante	2	21-30	16
Merchant / Comerciante	3	31-40	29
Experienced charcoal producer / Maestro carbonero	8	>40	14
Charcoal Producer-Merchant / Carbonero-Comerciante	1		
Ages / Edades	Percentage / Porcentaje	Learning method / Forma de aprendizaje	Percentage / Porcentaje
20-30	11	Family / Familiar	64
31-40	16	Self-taught / Solo	28
41-50	25	External (employer) / Externo (patrón)	8
>50	48		

Source: Compiled by the authors using data from on-site interviews.

Fuente: Elaboración propia a partir de las entrevistas de campo.

edge and experience in charcoal production; (b) middle-aged or younger individuals who also produce charcoal. This group, which includes both experienced and younger producers, generally does not own land but possesses in-depth knowledge of tree species, appropriate harvesting ages, cutting cycles, and general production techniques.

3. **Merchants:** Two types are identified: (a) those who accumulate charcoal locally and sell it to intermediaries in large sacks, or who repackage it for sale in markets or through informal street sales in the cities of Orizaba and Córdoba; (b) intermediaries from outside the region, who travel through various communities purchasing charcoal to resell in nearby cities or in more distant locations such as Tehuacán, Puebla, and Cuernavaca.

The producer categories mentioned above are neither fixed nor mutually exclusive; they may change over time or be combined. For example, individuals may be both landowners and merchants, or charcoal producers and merchants. In total, eight informants

1. **Dueños de parcelas.** Son personas propietarias de terrenos, y se reconocen dos tipos: (a) aquellos que alquilan o arrendan sus terrenos a personas que se encargan de producir carbón, recibiendo generalmente el 50 % de las ganancias; (b) aquellos que trabajan sus propios terrenos para producir carbón vegetal y además se encargan del empaquetado y la comercialización del producto tanto en la comunidad como en otras ciudades.

2. **Productores de carbón.** Se distinguen dos tipos: (a) los maestros carboneros o productores experimentados, en su mayoría adultos mayores que se dedican a esta actividad de tiempo completo. Son reconocidos por su amplio conocimiento y experiencia en la elaboración del carbón; (b) las personas de edad media o jóvenes que también se dedican a la producción de carbón. Este grupo, formado por maestros y jóvenes, generalmente no poseen parcela propia, pero cuentan con un profundo conocimiento sobre los tipos de árboles, edades aprovechables, ciclos de corta y las técnicas generales de producción.

are charcoal producers, one is a producer-merchant, three are exclusively merchants, two are landowner-producer-merchants, and three are landowner-merchants. Additionally, 47 individuals are landowners (see Table 1). When informants do not own land, they establish agreements to gain access to trees for charcoal production. These agreements include: (a) purchasing trees on third-party properties; (b) leasing plots for one to three years, which often includes the right to plant maize on the land after tree harvesting; (c) entering into partnerships where the landowner provides the trees and the charcoal producer carries out production, with profits shared after commercialization; and (d) landowners hiring a charcoal producer, who is paid either per kilogram of charcoal produced or based on the number of workdays.

The importance of charcoal producers in landscape shaping

There are different types of actors involved in charcoal production, with *experienced charcoal producers* having the greatest influence on landscape shaping. This is primarily because they are the ones who manage forested areas over extended periods of time (Table 2).

Charcoal Production Process

In Zongolica, charcoal production is carried out using traditional methods with simple tools and technologies such as machetes, chainsaws, fire, and soil. The process begins with the felling and cutting of trees into sections approximately 1.20 meters in length, with diameters ranging from 5 to 10 cm. The wood is then left to dry in the sun for seven days. However, some producers do not allow the wood to dry completely in order to accelerate the charcoal production process.

The kiln is constructed by placing the wood vertically, stacking logs on top of one another. The wood pile is then covered with black soil and leaf litter, leaving openings at the bottom to allow oxygen to enter. This type of kiln is known as an earth kiln, *chabete*, *colote*, or *muelas* (Wolf & Vogel, 1985), and locally it is called "*tekoltlalli*" in the Nahuatl language. The carbonization process lasts from five to nine days, depending on the size of the kiln. After cooling, the logs are removed, and the kiln is demolished.

3. Comerciantes. Existen dos tipos: (a) aquellos que acumulan carbón a nivel local y lo venden a intermediarios en costales, o lo embolsan para vender en mercados o en ventas ambulantes en las ciudades de Orizaba y Córdoba; (b) los intermediarios externos a la región, quienes recorren distintas comunidades comprando carbón para vender en ciudades cercanas o en lugares como Tehuacán, Puebla, y Cuernavaca.

Las categorías de productores antes mencionadas no son fijas ni excluyentes; pueden cambiar con el tiempo o combinarse, como ser dueños y comerciantes o carboneros y comerciantes. En total, ocho informantes son carboneros, uno es carbonero-comerciante, tres son exclusivamente comerciantes, dos son dueños-carboneros-comerciantes y tres más son dueños-comerciantes. Además, 47 son propietarios de parcelas (Cuadro 1). Cuando los informantes no disponen de terrenos propios, establecen acuerdos para acceder a los árboles y producir carbón. Entre estos acuerdos se encuentran: (a) la compra de árboles en propiedades ajenas; (b) la renta de parcelas por uno a tres años, incluyendo en ese período el uso del espacio para sembrar maíz después de aprovechar los árboles; (c) la participación en sociedades, en las que el dueño de la parcela aporta los árboles y el carbonero realiza la producción, dividiendo las ganancias al comercializar el producto; y (d) que el dueño de la parcela contrate a un carbonero, quien recibe un pago por kilo producido o un sueldo por los días laborados.

Importancia de los carboneros en la modelación del paisaje

Existen diferentes tipos de actores en la producción de carbón, siendo los maestros carboneros los que tienen mayor influencia sobre la modelación del paisaje, debido a que son ellos los que manejan los montes durante largos periodos (Cuadro 2).

Proceso de elaboración de carbón vegetal

En Zongolica, la producción de carbón vegetal se realiza de manera rústica, empleando herramientas y tecnologías sencillas como machetes, motosierras, fuego y tierra. El proceso inicia con el derribo y corte de los árboles en secciones de aproximadamente 1.20 metros de longitud, con diámetros que varían entre 5 y 10 cm. Poste-

Table 2. Perceptions and importance of charcoal producers in landscape shaping.
Cuadro 2. Percepciones e importancia de los carboneros en la modelación del paisaje.

<p><i>"I got this plot about 30 years ago, and I take it little by little. I start from the top of the hill and work my way around".</i> F. H. C. 56 years old. / <i>"Recibí la parcela hace 30 años y voy agarrando por pedazos, agarro de la loma y de ahí voy dándole la vuelta".</i> F. H. C. 56 años.</p>
<p><i>"When we cut down the trees, we just leave the land alone after, because the plants sprout back and the forest grows again".</i> A. J. T. 62 years old. / <i>"Cuando cortamos los árboles lo dejamos abandonado, porque ahí retoñan las plantas y vuelve a crecer el monte".</i> A. J. T. 62 años.</p>
<p><i>"They hire me because the owner doesn't want just anyone cutting wood. I'll work this land and go all the way up the hill. When I'm done here, I'll move on to another place where I work about two hectares of oak forest every year. See this hill? I've been working on it, and do you see those oaks? They're already growing back. In about three years, this whole area will be covered again, spreading down the slope".</i> J. C. H. 58 years old. / <i>"A mí me contratan porque el dueño no quiere que leñe cualquiera, trabajaré este terreno y llegaré hasta allá arriba del cerro. Terminando de aquí me voy a otro lado, donde voy a trabajar como dos hectáreas de encinera donde trabajo cada año". "Mira, este cerro yo lo trabajé y ve los encinos, ya van saliendo. De aquí a tres años ya se tupió de nuevo e irá de este lado para abajo".</i> J. C. H. 58 años.</p>
<p><i>"We rotate the land; if we cut on one side, by the time we come back, the oak trees have grown big".</i> S. M. 37 years old. / <i>"Los terrenos los vamos rotando, si se corta de un lado al cabo del tiempo cuando se regresa los árboles de encino ya están grandes".</i> S. M. 37 años.</p>

Source: Compiled by the authors using data from on-site interviews.

Fuente: Elaboración propia a partir de las entrevistas de campo.

The final product is packaged in sacks weighing approximately between 25 and 45 kilograms. Subsequently, it is transported to the nearest village or community for direct sale to consumers, commercial establishments, or intermediaries. The amount of charcoal produced varies depending on the size of the kiln and the species used, reaching between 250 and 500 kilograms per kiln (Figures 2 and 3).

Species used in charcoal production in Zongolica

Most of the interviewees reported dedicating approximately 40 % of their land to dendroenergy production. The significance of this activity was evident in their responses when asked what they considered the most important aspect of their plots (Table 3).

Regarding the tree species used for charcoal production, 62 % of the plots manage between three and four species, and only one plot reported more than six species. The most frequently occurring taxonomic genera were *Quercus* and *Alnus*, present in 30 % and 22 % of the plots, respectively. In total, eight tree species were identified as being used for charcoal pro-

riormente, la madera se deja secar al sol durante 7 días. Sin embargo, algunos productores no permiten que la madera se seque completamente, debido a la necesidad de acelerar el proceso de producción de carbón.

El horno se construye colocando la madera en posición vertical, formando recargas de trozas apiladas unas sobre otras. Luego, la madera se cubre con tierra negra y hojarasca, dejando huecos en la parte inferior para permitir la entrada de oxígeno. Este tipo de horno es conocido como horno de tierra, chabete, colote o muelas (Wolf & Vogel, 1985), y en la región se denomina "tekoltlalli" en lengua náhuatl. El proceso de carbonización dura de cinco a nueve días, dependiendo del tamaño del horno. Al finalizar, se deja enfriar y se retiran las trozas hasta desmontar el horno por completo.

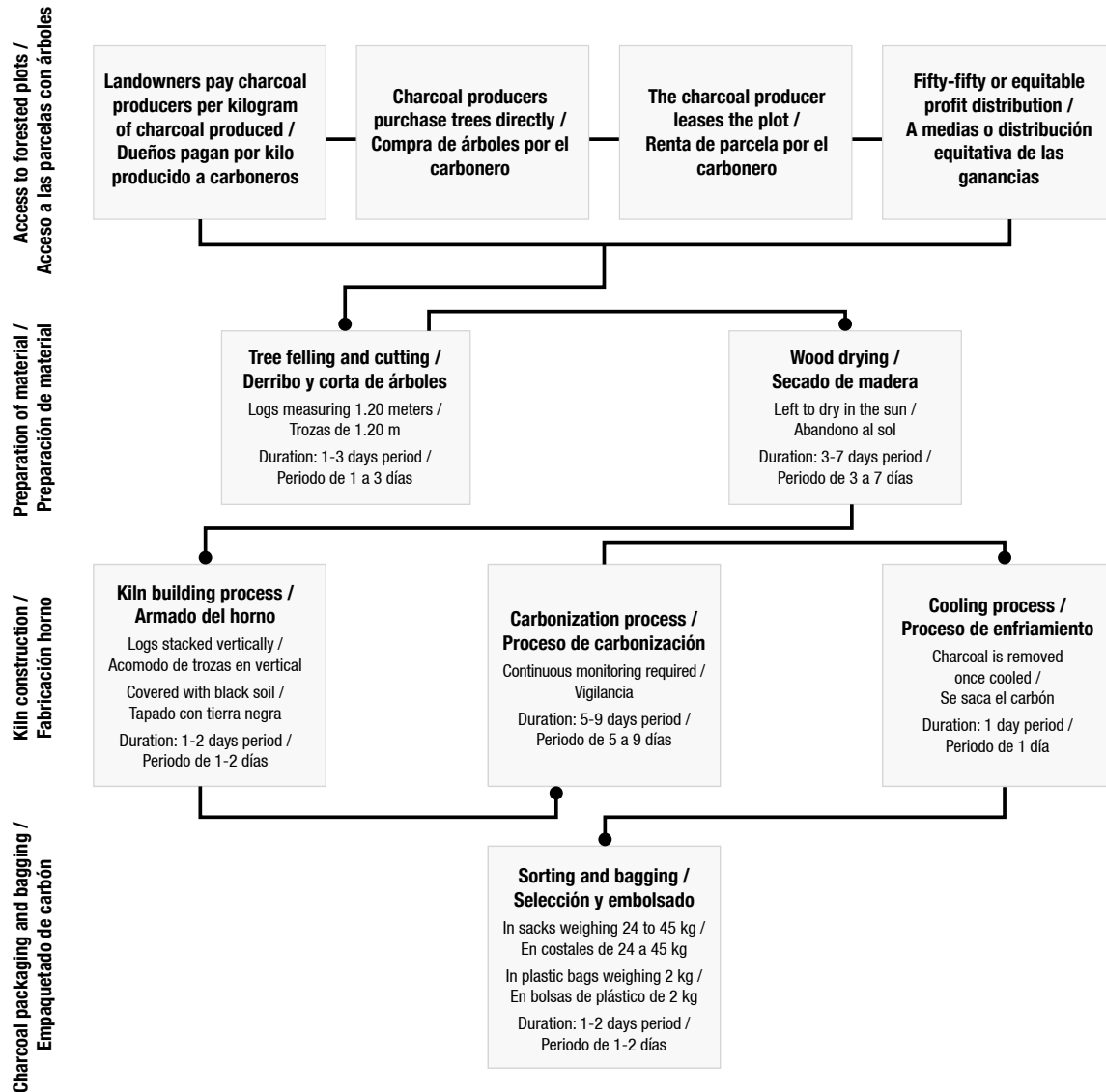
El producto final se empaca en costales que oscilan entre 25 y 45 kilos aproximadamente. Posteriormente, se traslada a la vereda o comunidad más cercana para su venta directa a consumidores, en establecimientos comerciales o a intermediarios. La cantidad de carbón producida varía según el tamaño del horno y las especies utilizadas, pudiendo alcanzar entre 250 y 500 kilos por horno (Figuras 2 y 3).

Figure 2. Stages of charcoal production process in the Sierra de Zongolica.

Source: On-site interviews.

Figura 2. Fases del proceso de producción de carbón vegetal en la sierra de Zongolica.

Fuente: Entrevistas de campo.



duction: *Pinus patula*, *Alnus acuminata*, *Arbutus* sp., *Quercus laurina*, *Quercus crassifolia*, *Quercus calophylla*, *Quercus rugosa* and *Quercus affinis*. Since these species are typically found growing together, it was important to record which combinations were most preferred for charcoal making. The most prevalent combination was *Quercus* sp., *Alnus* sp., and others. The presence of these combinations is not exclusive to individual plots—similar species combinations can be found across multiple plots (Table 4).

Especies utilizadas en la elaboración de carbón vegetal en Zongolica

La mayoría de los entrevistados mencionó que destina alrededor del 40 % de su terreno a la dendroenergía. Su importancia quedó evidenciada en las respuestas de los entrevistados tras preguntarles qué es lo que consideraban más importante dentro de sus parcelas (Cuadro 3).

En cuanto a las especies de uso forestal para carbón vegetal, en el 62 % de las parcelas se manejan de tres a cuatro especies, y solo en una parcela se reportan más

Figure 3. Charcoal Production Process. a) Cutting and drying of wood, b) Kiln building process, c) Wood carbonization, d) Kiln cooling, e) Bagging for transport and f) Packaging for sale (2 kg bags).

Source: On-site interviews.

Figura 3. Proceso de elaboración de carbón vegetal. a) corta y secado de la madera, b) armado del horno, c) horneado de madera, d) enfriamiento del horno, e) encostalado para transporte y f) empaquetado para venta (bolsas de 2 kg).

Fuente: Entrevistas de campo.



Table 3. Interviewee perspectives on the main uses and products in the plots
Cuadro 3. Testimonios sobre los usos y productos más importantes en las parcelas.

"The most important thing I get from my plot is firewood from ilite and oaks for charcoal, since those are the most abundant" (E. C. 26 years old). /

"Lo más importante que obtengo de mi parcela es la leña de ilite y encinos para carbón vegetal, pues es la que hay en más abundancia" (E. C. 26 años).

"The most important species are the oaks, because I use them to make charcoal and sell it when I need money. The firewood is also important for the house and for building small structures" (C. Z. M. 76 years old). /

"Lo más importante son los encinos, porque con ellos hago el carbón y lo vendo para tener dinero cuando se necesita, la leña porque se ocupa para la casa y construcción de alguna casita" (C. Z. M. 76 años).

"The most important species are the pines, which I use for timber, and the oaks for making charcoal" (J. L. T. C. 43 years old). /

"Lo más importante son los pinos de donde obtengo madera y encinos para producir carbón vegetal" (J. L. T. C. 43 años).

"Probably the most important species are the ocote pines, because I get wood from them to make furniture, which is my primary job" (R. I. I. 48 years old). /

"Lo más importante podrían ser los ocotes, porque de ellos obtengo la madera para fabricar muebles, que es mi oficio principal" (R. I. I. 48 años).

"Pines and oaks — I sell pinewood, and I use oaks for charcoal production" (S. H. S. 47 years old). /

"Los pinos y los encinos, porque de los pinos obtengo madera para venta y los encinos para vender, los árboles para producción de carbón" (S. H. S. 47 años).

Source: Compiled by the authors using data from on-site interviews.

Fuente: Elaboración propia a partir de las entrevistas de campo.

Since these species are typically found growing together, it was important to record which combinations were most preferred for charcoal making. The most prevalent combination was *Quercus* sp., *Alnus* sp., and others. The presence of these combinations is not exclusive to individual plots—similar species combinations can be found across multiple plots (Table 4).

Charcoal marketing

Three main marketing strategies were identified, determined by the availability of vehicles for transporting the product. Producers often have to sell to local or regional intermediaries who come to purchase charcoal directly in their communities.

The first strategy consists of selling 25–30 kg sacks brought by foot to the roadside, where an intermediary regularly buys them for approximately \$250.00 MXN. The retail price at the point-of-sale ranges from \$6.00 to \$8.00 MXN per kilogram. The second strategy involves transporting the sacks directly to a local buyer, who purchases the charcoal by weight (in kilograms) through prior arrangements. In these cases, the cost per sack is around \$270.00 MXN, and the price per kilogram ranges from \$7.00 to \$9.00 MXN.

The third strategy involves direct sales by producers in urban areas, where they offer sacks for \$300.00 MXN or 2 kg bags in different regional markets or local stores,

de seis especies. Los géneros taxonómicos más frecuentes fueron: *Quercus* y *Alnus*, presentes en 30 y 22 % de las parcelas, respectivamente. En total se identificaron ocho especies de árboles utilizados para la producción de carbón *Pinus patula*, *Alnus acuminata*, *Arbutus* sp., *Quercus laurina*, *Quercus crassifolia*, *Quercus calophylla*, *Quercus rugosa* y *Quercus affinis*. Debido a que las especies utilizadas se encuentran mezcladas entre ellas, fue importante registrar cuales combinaciones eran las predilectas para la elaboración de carbón, la predominante fue *Quercus* sp., *Alnus* sp. otros. La presencia de estas combinaciones no es exclusiva de cada parcela, puede haber la misma combinación en varias de ellas (Cuadro 4).

Comercialización del carbón vegetal

Se identificaron tres principales estrategias de comercialización, determinadas por la disponibilidad de vehículos para el transporte del producto. Con frecuencia, los productores deben vender a intermediarios locales o regionales que llegan a comprar en sus comunidades. La primera estrategia consiste en vender costales de 25 a 30 kg llevados a pie de camino, donde un intermediario los adquiere regularmente por aproximadamente \$250.00. El precio en el punto de venta varía entre \$6.00 y \$8.00 por kilogramo. La segunda estrategia implica trasladar los costales al comprador local, quien adquiere el producto por peso en kilogramos mediante acuerdos previos; en estos casos, el costo del costal es

Table 4. Taxonomic categories used in charcoal production.
Cuadro 4. Grupos taxonómicos usados para la producción de carbón.

Species combinations / Combinación	Percentage / Porcentaje
<i>Quercus-Alnus-other species / Quercus-Alnus-otros</i>	18
<i>Quercus-Pinus-Alnus-Arbutus</i>	12
<i>Quercus</i>	10
<i>Quercus-Pinus</i>	10
<i>Quercus-Pinus-Alnus</i>	10
<i>Quercus-other species / Quercus-otros</i>	10
<i>Quercus-Pinus-Arbutus</i>	7
Another species / otros	7
<i>Pinus-other species / Pinus-otros</i>	5
<i>Alnus-other species / Alnus-otros</i>	5
<i>Alnus</i>	2
<i>Pinus-Alnus-Arbutus</i>	2
All species / Todas las especies	2

Source: Compiled by the authors using data from on-site interviews.

Fuente: Elaboración propia a partir de las entrevistas de campo.

achieving a final price of approximately \$10.00 MXN per kilogram. Most of the charcoal production is sold in the regional market, particularly in the city of Orizaba, as well as in Puebla, which is also a major distribution point. Locally, the community of Zacamilola is the main receiver of charcoal. Lastly, an emerging market has been identified in Cuernavaca, Morelos, as well as in Tlaxcala and Tehuacán, Puebla (Figure 4).

Interviewees' perspectives on current charcoal production

Charcoal production is carried out in areas with vegetative regeneration through sprouting, using the coppicing. Seven interviewed producers reported a decline in charcoal production due to various factors, primarily the reduction in tree cover used for dendroenergy, such as oaks or *Ilites*. Additionally, there is a growing trend to replace traditional species with pine plantations, which offer greater economic benefits due to their value in furniture production.

On the other hand, some producers noted that production has become faster thanks to the availability of tools such as machetes, axes, and chainsaws. These tools facilitate labor, reduce production time, and lower the amount of raw material required. They

de aproximadamente \$270.00 y el precio por kilogramo oscila entre \$7.00 y \$9.00.

La tercera estrategia consiste en la venta directa por parte de los productores en ciudades, donde ofrecen el costal a \$300.00 o bolsas de 2 kg en diversos mercados regionales o pequeñas tiendas, logrando un precio final de aproximadamente \$10.00 por kilogramo. Se encontró que la mayor parte de la producción se comercializa en el mercado regional, especialmente en la ciudad de Orizaba, así como en Puebla, que también es un punto importante de venta. A nivel local, la comunidad de Zacamilola es la principal receptora de carbón. Finalmente, se identifica un mercado emergente en Cuernavaca, Morelos, así como en Tlaxcala y Tehuacán, en Puebla (Figura 4).

Perspectivas de los informantes sobre la producción actual de carbón vegetal

La producción de carbón se lleva a cabo en sitios donde existe regeneración vegetativa mediante rebrotes, utilizando el método de monte bajo o coppice. Siete productores entrevistados mencionaron que la producción de carbón vegetal ha disminuido por diversas causas, principalmente por la reducción del arbolado destinado a dendroenergía, como encinos o *ilites*. Además,

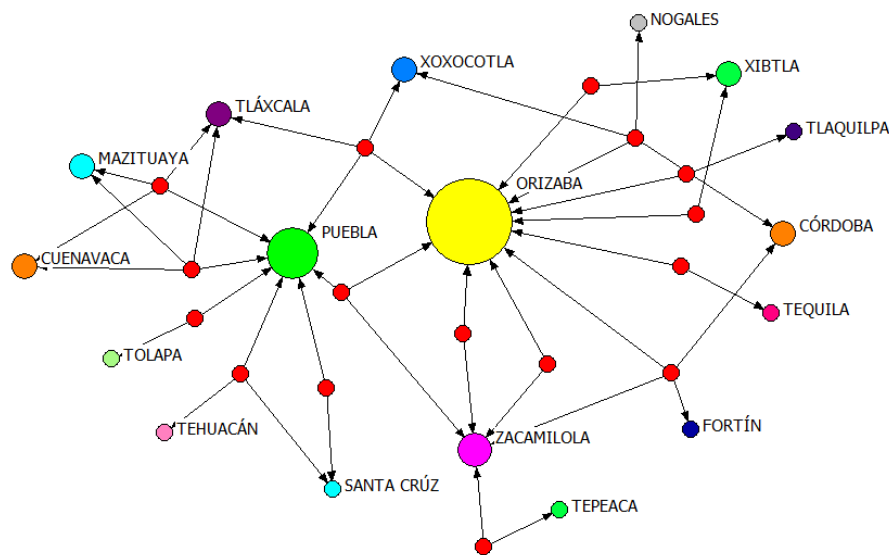


Figure 4. Network of charcoal sales destinations.

Source: On-site interviews.

Figura 4. Red de destinos de venta del carbón vegetal.

Fuente: Entrevistas de campo.

also indicated that the presence of a network of roads and improved transportation infrastructure allows them to deliver the product more efficiently to distant markets (Table 5).

Discussion

Observations from interviewees

Charcoal production is generally carried out on family-owned plots, which generate income through a va-

existe una tendencia a sustituir las especies tradicionales por plantaciones de pino, ya que estas ofrecen mayores beneficios económicos por su venta como muebles. Por otro lado, algunos productores señalaron que la producción ahora es más rápida debido a la disponibilidad de herramientas como machetes, hachas y motosierras, las cuales facilitan el trabajo, reducen los tiempos de producción y disminuyen la cantidad de materia prima utilizada. También indicaron que, gracias a la existencia de una red de caminos y mejores vías de comuni-

Table 5. Perceptions of trends in charcoal production.
Cuadro 5. Percepciones sobre la tendencia en la producción.

<p><i>"Production has gone down because people don't want to sell the few trees that are left; more are focused on selling than actually making charcoal"</i> S. H. S., 47 years old. / <i>"Hay menos producción, porque los árboles que quedan ya no quieren venderlos, más gente se dedica a vender y menos a producir"</i> S. H. S., 47 años.</p>
<p><i>"There is less charcoal production. There just aren't as many trees left to work with"</i> J. L. T. C., 43 years old. / <i>"Hay menos producción de carbón. Ya no hay tantos árboles para trabajar"</i> J. L. T. C., 43 años. <i>"Production has increased because there are tools to work with, and thanks to the road, we can move more product in less time"</i> S. H. S., 47 years old. / <i>"Hay más producción porque hay herramientas para trabajar y con la carretera se puede sacar mayor producción en poco tiempo."</i> S. H. S., 47 años.</p>
<p><i>"It has decreased due to the lack of oak trees"</i> S. M.P. 35 years old. / <i>"Ha disminuido por la falta de encinos"</i> S. M.P. 35 años.</p>
<p><i>"There used to be more forest, but now it's being depleted because people need money, so production has gone down"</i> V.M.S., 54 years old. / <i>"Antes había más monte, pero ahora ya lo vienen acabando porque la gente necesita dinero, entonces se ha acabado la producción"</i> V.M.S., 54 años.</p>
<p><i>"Over time, the type of vegetation has changed. Oaks are disappearing, and people are planting other trees like pines, so production is declining"</i> C.Z.M. 75 years old. / <i>"Con el paso del tiempo se va cambiando el tipo de vegetación, se pierden los encinos siembran otros árboles como ocotes, por eso se deja de producir"</i> C.Z.M. 75 años.</p>
<p><i>"I think production has gone up. Before, even if there was a lot being made, you didn't really see it—maybe because business was slower, there were fewer people, or it was harder to move the product. But once there was better road access, small trucks started hauling bagged charcoal, along with 3-ton trucks and even big torton trucks"</i> J. C. B. 57 years old. / <i>"Yo creo que aumentó, antes no se veía a pesar de que había tanta producción creo que el movimiento comercial era más lento, tal vez había menos población o se dificultaba más el transportarlo, pero a partir que hubo más acceso a caminos, hay camionetas así chiquitas de batea que llevan así embolsado carbón, camionetas de 3 toneladas y camiones torton"</i> J. C. B. 57 años.</p>
<p><i>"Back then, there was plenty of firewood—everything was available. Now it's really scarce. People leave wood for charcoal because it's more valuable, but there's less and less of it"</i> R. I. P. 53 years old. / <i>"Lo que pasa que antes había bastante leña y había de todo, ahorita ya escaseo mucho. Se deja para el carbón ya que es más costoso, pero cada vez hay menos"</i> R. I. P. 53 años.</p>
<p><i>"Production used to be higher, but not anymore. Now people are harvesting timber instead—shifting activities to make furniture. It's because there are hardly any trees left. There are very few oaks, and if you cut down a large one, it takes about 10 years to grow back"</i> M. D. G. 43 years old. / <i>"Antes se producía más pero ya casi no. Ya ahora se dedican a sacar madera, o sea van cambiando la actividad o para hacer muebles. Es porque ya no hay árboles, de encinos hay muy pocos, si cortan uno grande tarda como 10 años"</i> M. D. G. 43 años.</p>

Source: Compiled by the authors using data from on-site interviews.

Fuente: Elaboración propia a partir de las entrevistas de campo.

riety of activities (Vega-Ortega et al., 2021). This activity primarily involves the household unit, and the participation of interviewees is essential for the production of household goods (Araujo et al., 2009). Among the interviewees' characteristics that have the greatest impact on productive activities, one of the most significant is the type of producer, as some promote or limit the use and management of certain species (Shukla et al., 2029).

In Zongolica, special attention was given to landowners, as they are the ones who make decisions regarding the management of their plots. Landowners were classified based on how they organize their work: some cultivate their own land, while others lease land or participate in activities where they share profits with charcoal producers. Agreements for working the land have been addressed in other studies; for example, Levasseur et al. (2000) found that in Belize, 60 % of informants leased plots for their productive activities, in contrast to Zongolica, where most informants own their land. Landowners play a key role in understanding how landscapes are shaped, forming specific configurations in each region (Butler et al., 2017; Häyrinen et al., 2015). The findings reported here agree with other studies regarding the importance of land tenure as a primary factor in agroforestry management on small plots (Byron, 2001). This demonstrates the extensive knowledge that plot producers in the Sierra de Zongolica have to adapt to diverse social and physical conditions in their environment, adopting different land management strategies and thereby shaping the characteristic agroforestry landscapes of this region.

Main plant species used

Although the exact time when the practice of using vegetative sprouting began in the Sierra de Zongolica cannot be determined, the presence of a Nahuatl term, "tlaxmolo" or "tlaxmoli," indicates ancestral knowledge of this form of vegetative growth (Vega-Ortega et al., 2025).

A distinctive aspect of the management of these rural forests is the involvement of two groups of actors. On one hand, the peasant landowners carry out silvicultural practices such as pruning thinner or thick-

cación, pueden transportar el producto con mayor rapidez a lugares más distantes (Cuadro 5).

Discusión

Aviso de los informantes

La producción de carbón vegetal se realiza generalmente en la parcela familiar, la cual proporciona ingresos a partir de diversas actividades (Vega-Ortega et al., 2021). Se ha documentado que esta actividad involucra principalmente al núcleo familiar, por lo que la participación de los informantes es fundamental para la elaboración de los enseres del hogar (Araujo et al., 2009). Entre las características de los informantes que tienen mayor peso en las actividades productivas, una de las más relevantes es la tipología de productores, ya que algunos de ellos fomentan o reducen el uso y manejo de ciertas especies (Shukla et al., 2029).

En Zongolica, se prestó especial atención a los dueños de parcela, ya que son quienes toman las decisiones relacionadas con el manejo de sus terrenos. Los tipos de dueños se clasificaron según la forma en que organizan su trabajo: algunos trabajan su propia tierra, mientras que otros la rentan o participan en actividades en las que comparten las ganancias obtenidas con los carboneros. Los acuerdos para trabajar la tierra han sido abordados en otras investigaciones; por ejemplo, Levasseur et al. (2000) encontraron que en Belice el 60 % de los informantes rentaban parcelas para sus actividades productivas, en contraste con Zongolica, donde predominan los informantes que poseen terrenos propios. Los propietarios son fundamentales para comprender cómo se modelan los paisajes, conformando configuraciones específicas en cada región (Butler et al., 2017; Häyrinen et al., 2015). Lo reportado en este trabajo coincide con otros estudios respecto a la importancia de la tenencia de la tierra como característica principal para el manejo agroforestal en parcelas pequeñas (Byron, 2001). Esto demuestra el amplio conocimiento que tienen los productores de parcelas en la sierra de Zongolica para adaptarse a las diversas condiciones sociales y físicas del entorno, adoptando diferentes formas de manejo de la tierra y, así, conformando paisajes agroforestales característicos de esta región.

er shoots, planting trees, and tending their growth to maintain tree cover in the steep areas of their small plots. On the other hand, the charcoal producers coordinate logging and final production activities, rotating harvests among different plots, resulting in an organized management of their territory (López Binnquist et al., 2020).

In Zongolica, the forest component dedicated to charcoal production occupies approximately half of the total agroforestry plot (40 %), usually in patches of forest, considering that plot sizes are small. The importance producers attribute to this component is evident, as it provides products intended for sale, such as charcoal. The size of the forest component can vary depending on the owners' objectives, with recorded ranges from 60 % to 89 % of the total family plot (Moreno-Calles et al., 2014; Starke et al., 2020).

Forest species remain important resources in rural areas, and their diversity is closely linked to the culture and environment in which they exist (Gual-Díaz et al., 2020). Regarding the management of species for dendroenergy, the results of this study coincide with findings from Europe and the United States, where these species have been promoted and conserved over long periods through vegetative reproduction via coppicing, ensuring their sustained presence (Del Tredici, 2001; Stajic et al., 2009).

In Zongolica, most interviewees use around seven tree species for charcoal production, with the genus *Quercus* being the most valued and thus actively promoted by interviewees due to the quality of its wood. Species of the *Quercus* genus naturally grow in the study area; however, they have historically been encouraged in groves within agroforestry systems, which have been managed through coppicing through vegetative sprouting (Vega-Ortega et al., 2025). As Long and Nair (1999) point out, the number of forest species maintained on plots can be relatively low as a result of prolonged management. This characteristic agrees with studies conducted in other regions of Mexico and India, where the use of two to three oak species has been reported (Rai et al., 2002).

Oaks have traditionally been used for different purposes and are considered highly important as a basic raw material, used in construction, charcoal production, and tool handle manufacturing. Additionally,

Principales especies vegetales utilizadas

No se puede determinar con exactitud cuándo comenzó el uso del aprovechamiento por rebrote en la Sierra de Zongolica; sin embargo, el hecho de que cuente con un término nahua, "tlaxmoloh" o "tlaxmoli", sugiere que existe un conocimiento ancestral respecto al tipo de crecimiento vegetativo (Vega-Ortega et al., 2025).

Un aspecto distintivo en la gestión de estos bosques rurales es la participación de dos grupos de actores. Por un lado, los campesinos propietarios llevan a cabo prácticas silvícolas, como la poda de retoños más delgados o gruesos, la siembra de árboles y el cuidado de su crecimiento para mantener la cobertura arbórea en las áreas escarpadas de sus pequeñas parcelas. Por otro lado, los carboneros coordinan las actividades de tala y producción final, rotando las cosechas entre diferentes parcelas, lo que resulta en un manejo organizado de su territorio (López Binnquist et al., 2020).

En Zongolica, el componente forestal dedicado a la producción de carbón ocupa aproximadamente la mitad del total de la parcela agroforestal (40 %), generalmente en manchones de bosque, considerando que el tamaño de las parcelas es reducido. Se observa la importancia que los productores atribuyen a este componente, ya que en él se obtienen productos destinados a la venta, como el carbón vegetal. El tamaño del componente forestal puede variar según los objetivos de los propietarios, registrándose rangos que van desde el 60 hasta el 89 % del total de la parcela familiar (Moreno-Calles et al., 2014; Starke et al., 2020).

Las especies forestales siguen siendo recursos importantes en las zonas rurales, y su diversidad está estrechamente vinculada con la cultura y el medio ambiente en el que se encuentran (Gual-Díaz et al., 2020). En cuanto al manejo de las especies para dendroenergía, los resultados de este estudio coinciden con lo registrado en Europa y Estados Unidos, donde se documenta que estas especies han sido promovidas y conservadas durante largo tiempo mediante la reproducción vegetativa a través del manejo de monte bajo, lo que garantiza su presencia prolongada (Del Tredici, 2001; Stajic et al., 2009).

En Zongolica, la mayoría de los entrevistados utilizan alrededor de siete especies de árboles para la producción de carbón, siendo el género *Quercus* el más valorado y, por lo tanto, promovido por los informantes

they are a renewable natural resource, as their acorns are consumed by swine, their leaves are used as seasoning and for wrapping tamales, and in some cases, they are employed in leather tanning (Bainbridge, 1986). Oaks also provide essential environmental services, including oxygen production, carbon dioxide capture, noise filtration, soil erosion reduction, temperature regulation, and habitat for various epiphytic species. Moreover, they have medicinal uses, with different parts applied to relieve pain, treat diarrhea, and epilepsy (Arizaga et al., 2009). Furthermore, oak wood ranks second in forest resource utilization in Mexico after pine, representing approximately 9 % of the total harvested wood in the country (Pérez-Olvera et al., 2000).

In the case of oaks, the total number of species found in Zongolica is lower than that reported in other studies. For example, in Michoacán, nine species were recorded for different uses; however, despite being a regional study, a high number of species were observed across all forest fragments (Aguilar-Romero et al., 2016). We believe that the dominance of oak species in the study area is due to their wide distribution, adaptation to soil characteristics, and the promotion of their use because of their high economic value, as they are highly valued in the region for charcoal production.

Key aspects of marketing

In the Sierra de Zongolica, forest and agroforestry management has been developed over several generations as a strategy for adapting to diverse environmental and production conditions (López Binnquist et al., 2020). As part of this management system, the production of raw materials for charcoal has played a fundamental role in the daily lives of local inhabitants. This reflects local knowledge of the tree species used and the productive conditions of their plots, and forms part of an essential economic activity for many Nahua families, as well as for others involved in the extensive charcoal commercialization network in nearby cities (Vega-Ortega et al., 2021).

Charcoal has historically been used to cook traditional dishes on special occasions, for providing heat during the winter, and, since pre-Hispanic times, has been a product in demand beyond the Sierra de Zon-

devido a la calidad de su madera. Las especies del género *Quercus* habitan naturalmente en la zona de estudio; sin embargo, han sido promovidas históricamente en bosquetes dentro de sistemas agroforestales, los cuales se han manejado mediante el método de monte bajo o coppice, a través de la reproducción vegetativa de brotes (Vega-Ortega et al., 2025). Como señalan Long & Nair (1999), el número de especies forestales mantenidas en parcelas puede ser relativamente bajo como resultado de un manejo prolongado. Esta característica coincide con estudios realizados en otras regiones de México e India, donde se reporta el uso de dos a tres especies de encinos (Rai et al., 2002).

Los encinos han sido utilizados tradicionalmente para diversos fines y se consideran de gran importancia como materia prima básica, utilizada en construcción, elaboración de carbón y fabricación de mangos para herramientas. Además, son un recurso natural renovable, ya que sus frutos son consumidos por el ganado porcino, sus hojas se emplean como condimento y para envolver tamales, y en algunos casos se utilizan en el curtido de pieles (Bainbridge, 1986). Asimismo, proporcionan servicios ambientales fundamentales, como la producción de oxígeno, captura de dióxido de carbono, filtración de ruido, reducción de la erosión del suelo, regulación de la temperatura y hábitat para diversas especies de epífitas. También presentan usos medicinales, ya que sus partes se emplean para calmar dolores, tratar diarrea y epilepsia (Arizaga et al., 2009). Por otra parte, la madera de encino ocupa el segundo lugar en aprovechamiento forestal en México, después de los pinos, representando aproximadamente el 9 % del total de la madera aprovechada en el país (Pérez-Olvera et al., 2000).

En el caso de los encinos, el número total de especies encontradas en Zongolica es menor que el reportado en otros estudios. Por ejemplo, en Michoacán se registraron nueve especies utilizadas para diversos fines; sin embargo, a pesar de ser un estudio regional, se observó un alto número de especies presentes en todos los fragmentos de bosque (Aguilar-Romero et al., 2016). Consideramos que la dominancia de las especies de encino en la zona de estudio se debe a su amplia distribución, su adaptación a las características del suelo y a la promoción de su uso debido a su alto valor económico, ya que son ampliamente valoradas en la región para la elaboración de carbón vegetal.

golica (Rodríguez-López, 2000). Today, it is used in incense burning during religious events, which play a significant role in the daily lives of local residents, as well as in small street food vending. However, most charcoal production is marketed outside the Sierra, primarily in nearby cities and even in other states. This pattern has been documented in other studies, which note that charcoal is typically sold in cities close to production centers, particularly in Indigenous communities with limited resources and no access to private transportation (Häyrinen et al., 2015).

The lack of private vehicles among producers in Zongolica has led to a charcoal value chain that is dominated by intermediaries. This situation can result in economic disadvantages for producers, who receive low prices for their product compared to the value paid by the final consumer, directly benefiting intermediaries (Nabukalu & Gieré, 2019). It is estimated that the average monthly income of a charcoal producer is approximately \$5,000.00 MXN, with an investment of around 45 hours per week (Camou-Guerrero et al., 2016). The price of charcoal is determined by market demand and is primarily set by intermediaries, meaning producers must accept the profit margins imposed by these traders (Häyrinen et al., 2015).

Due to the high demand for forest products in urban areas, natural resources are being severely impacted, primarily through increased deforestation (Girard, 2023; Nabukalu & Gieré, 2019). In Charcoal production in Zongolica has decreased as a result of the limited availability of suitable trees for its production. Furthermore, current charcoal production practices and technologies, shaped by urbanization and commercial pressures, tend to prioritize economic gains over ecological and social values, potentially resulting in unforeseen long-term impacts (Trossero, 2002).

Most charcoal production and commercialization in Mexico, and specifically in Zongolica, occurs within a context of informality and illegality. Furthermore, this activity is considered a marginal subsistence livelihood with low profitability, resulting in minimal economic benefits (Camou-Guerrero et al., 2014). Some studies suggest that banning charcoal production and sales would be counterproductive: rather than reducing the activity, it would encourage clandestine

Aspectos relevantes de la comercialización

En la sierra de Zongolica, el manejo forestal y agroforestal ha sido desarrollado a lo largo de varias generaciones como una estrategia de adaptación a las condiciones ambientales y productivas heterogéneas (López Binnqüist et al., 2020). Como parte de este manejo, destaca la producción de materia prima para carbón vegetal, actividad que ha sido fundamental en la vida diaria de sus habitantes. Esto evidencia un conocimiento local sobre las especies utilizadas, las condiciones productivas de sus parcelas y forma parte de una actividad económica esencial para muchas familias nahuas, así como para otras que participan en la amplia red de comercialización de carbón en las ciudades cercanas (Vega-Ortega et al., 2021).

El carbón ha sido utilizado históricamente para la preparación de platillos en ocasiones especiales, para proporcionar calor durante el invierno y, desde la época prehispánica, ha sido un producto con demanda fuera de la Sierra de Zongolica (Rodríguez-López, 2000). Actualmente, se emplea para sahumerios en eventos religiosos, que son importantes en la vida cotidiana de los habitantes, y para la venta de comida en la vía pública a pequeña escala. Sin embargo, la mayor parte de la producción se comercializa fuera de la sierra, principalmente en las ciudades cercanas e incluso en otros estados. Esta característica ha sido documentada en otros estudios, donde se indica que la comercialización de carbón vegetal suele realizarse en ciudades próximas a los centros de producción, principalmente en comunidades indígenas con recursos limitados y sin vehículos propios (Häyrinen et al., 2015).

La carencia de vehículos propios por parte de los productores en Zongolica ha provocado que la cadena de valor del carbón vegetal esté dominada por intermediarios. Esto puede generar desventajas económicas para los productores, quienes reciben bajos precios por su producto en comparación con el valor que paga el consumidor final, beneficiando directamente a los intermediarios (Nabukalu & Gieré, 2019). Se estima que el ingreso promedio de un productor de carbón vegetal es de aproximadamente \$5,000.00 mensuales, invirtiendo cerca de 45 horas por semana (Camou-Guerrero et al., 2016). El precio del carbón vegetal está determinado por la demanda del mercado y es establecido principalmente por

tine operations and complicate monitoring and regulation efforts (Eniola and Odebode, 2018). Finally, as observed in other cases in Zongolica, the lack of regulation favors the centralization of power among collectors and transporters, who control the commercialization process. This situation can lead to conflicts with producers, who risk losing their product in cities due to frequent extortion and confiscations (Camou-Guerrero et al., 2014).

In Zongolica, the commercialization system is dominated by intermediaries, which limits the direct profits of producers. This situation can create a perception of unfair distribution of economic benefits, where intermediaries receive most of the gains. Farmers' perception of the low prices they receive for their charcoal and their lack of direct market access may discourage them from investing in improving product quality. Charcoal producers often view this activity as a means to obtain quick income and therefore do not typically prioritize the quality of the final product. Ultimately, the inequality in earnings may lead to the abandonment of this activity in the region.

The artisanal charcoal production process in Zongolica

As previously mentioned, charcoal production in the Sierra de Zongolica takes place on small agroforestry plots that combine agricultural, livestock, and forestry components within small patches of trees managed through coppicing (Vega-Ortega et al., 2025). Therefore, it is evident that local peasants have extensive knowledge about forest resource management and charcoal production, an activity that has been carried out for many years through the management of forest groves or patches. Although some producers have noticed changes in resource availability, access to machinery, and transportation infrastructure, the charcoal production process in Zongolica remains essentially artisanal and is primarily conducted using rudimentary kilns. This production method has not changed in the past 500 years. The kiln is built by placing the wood in a vertical position, stacking the logs on top of each other. The wood is then covered with black soil and leaf litter, leaving openings at the bottom to allow oxygen to enter. This type of kiln is known as an earth kiln, *chabete*, *colote*, or *muelas* (Wolf & Vogel, 1985), and in the region it

los intermediarios, por lo que los productores deben aceptar los márgenes de ganancia estipulados por estos comerciantes (Häyrynen et al., 2015).

Debido a las altas demandas de productos forestales en las ciudades, los recursos naturales se ven seriamente afectados, principalmente por el incremento de la deforestación (Girard, 2023; Nabukalu & Gieré, 2019). En Zongolica, la producción de carbón ha disminuido debido a la escasez de árboles disponibles para su elaboración. Además, es importante destacar que, debido a la urbanización y a la producción comercial, las prácticas y tecnologías actuales en la producción de carbón se enfocan más en el valor económico que en el valor ecológico y social, lo que puede tener consecuencias desconocidas a largo plazo (Trossero, 2002).

La mayor parte de la producción y comercialización de carbón en México, y específicamente en Zongolica, se realiza en un contexto de informalidad e ilegalidad. Además, esta actividad es considerada de subsistencia marginal y poco rentable, por lo que los beneficios obtenidos son mínimos (Camou-Guerrero et al., 2014). Algunos estudios sugieren que una prohibición de la producción y venta de carbón sería contraproducente: en lugar de reducir la actividad, promovería las operaciones clandestinas y dificultaría el control y registro de esta (Eniola y Odebode, 2018). Finalmente, al igual que en otros casos en Zongolica, se menciona que la falta de regulación favorece la centralización en los acopiadores y transportistas, quienes controlan el proceso de comercialización. Esto puede generar conflictos con los productores, quienes arriesgan la venta en las ciudades debido a las constantes extorsiones y decomisos de su producto (Camou-Guerrero et al., 2014).

En Zongolica, el sistema de comercialización está dominado por intermediarios, lo que limita las ganancias directas de los productores. Esto puede generar una percepción de distribución injusta de los beneficios económicos, en la que los intermediarios obtienen la mayor parte de las ganancias. La percepción de los campesinos sobre los bajos precios que reciben por su carbón vegetal y la falta de acceso directo a los mercados puede desmotivarles a invertir en mejorar la calidad del producto. Los productores de carbón suelen ver esta actividad como una forma de obtener ingresos rápidos, por lo que no suelen priorizar la calidad del producto final. Finalmente, la desigualdad en las ganancias puede conducir al abandono de esta actividad en la región.

is called *tekoltlalli* in the Nahuatl language. This corresponds with practices in various regions of Mexico, where charcoal is produced in rudimentary kilns (FAO, 2017; Heya et al., 2014). In Zongolica and other areas of the country, the time required to complete the entire production process varies depending on the size of the kiln, the diameter of the trees, climatic conditions, and the number of workers (Camou-Guerrero et al., 2014; Eniola y Odebode, 2018).

Perceptions of charcoal production

People's perceptions of the plant world can be understood both in relation to specific species and in terms of ecological processes and organizational forms. The recognition and classification of environmental aspects constitute a fundamental part of the biological knowledge held by Indigenous groups in Mexico (Eniola & Odebode, 2018).

Regarding charcoal production, perceptions about the future of this activity are heterogeneous. On one hand, some peasants see opportunities in adopting more sustainable practices and in gaining access to fairer markets. For example, in Zongolica, interviewees mentioned that production has declined due to different factors, such as the scarcity of suitable trees for the task. It has also been documented that farmers are aware of the environmental effects associated with charcoal production, particularly regarding deforestation and the degradation of forest resources (Camou-Guerrero et al., 2014). The activity is carried out using artisanal methods that are not always sustainable, which contribute to biodiversity loss and soil degradation (Vega-Ortega et al., 2021). Nevertheless, some peasants also view charcoal production as a way to make use of local resources and generate income, creating a tension between economic necessity and environmental conservation (Heya et al., 2014).

Families in the Sierra of Zongolica are in constant adaptation to new social, political, and cultural conditions. Recent trends show a shift from oak trees to fast-growing pine plantations (López Binnquist et al., 2020), along with an increase in the demand for charcoal from markets outside the Sierra. These dynamics may affect the management of these species, promoting a new configuration of the forest component within plots and reducing their biological and genetic diversity (Vega-Ortega et al., 2021). In this context,

El proceso de elaboración de carbón vegetal artesanal en Zongolica

Como se ha mencionado, la producción de carbón vegetal en la sierra de Zongolica se realiza en pequeñas parcelas agroforestales que combinan componentes agrícolas, pecuarios y forestales en pequeños manchones de árboles manejados mediante el método de monte bajo (Vega-Ortega et al., 2025). Por ello, consideramos que los campesinos poseen un amplio conocimiento sobre la gestión de los recursos forestales y la producción de carbón vegetal, actividad que se ha llevado a cabo durante muchos años, gestionando los bosquetes o manchones de bosque. Aunque algunos productores han notado cambios en la disponibilidad de recursos, el acceso a maquinaria y a vías de comunicación, el proceso de elaboración del carbón en Zongolica sigue siendo básicamente artesanal, realizado principalmente en hornos rudimentarios. Este método de fabricación no ha cambiado en los últimos 500 años. El horno se construye colocando la madera en posición vertical, cargando las trozas unas sobre otras. Luego, la madera se cubre con tierra negra y hojarasca, dejando huecos en la parte inferior para permitir la entrada de oxígeno. Este tipo de horno se conoce como horno de tierra, chabete, colote o muelas (Wolf & Vogel, 1985), y en la región se llama "tekoltlalli" en lengua náhuatl. Lo anterior coincide con prácticas en diversas regiones de México, donde el carbón se produce en hornos rudimentarios tipo campana (FAO, 2017; Heya et al., 2014). En Zongolica y en otras zonas del país, el tiempo necesario para completar todo el proceso de producción varía según el tamaño del horno, el diámetro de los árboles, las condiciones climáticas y el número de trabajadores (Camou-Guerrero et al., 2014; Eniola y Odebode, 2018).

Percepciones sobre la producción de carbón vegetal

La percepción que tienen las personas sobre el mundo vegetal puede comprenderse tanto en relación con especies específicas como en términos de procesos y formas de organización ecológica. El reconocimiento y la clasificación de aspectos ambientales constituyen una parte fundamental del conocimiento biológico de los grupos indígenas en México (Eniola & Odebode, 2018).

En cuanto a la producción de carbón vegetal, existen percepciones heterogéneas sobre el futuro de esta actividad; por un lado, algunos campesinos ven

it is necessary to examine the dynamics of charcoal consumption outside the Sierra, identifying the existing marketing channels and networks in nearby cities and neighboring states to determine the impact that this demand may have on the productive dynamics of Zongolica's traditional agroforestry system.

Interviewees in Zongolica have noted that the use of tools and the construction of roads have increased charcoal production but have also facilitated the over-exploitation of trees used for this activity. This results in a reduction in product cost, favoring hoarding by intermediaries. This pattern has been widely documented in various studies, which indicate that the use of improved tools can enhance the quality of the charcoal produced (Bailis et al., 2015; Sieber & Allen, 2016). Furthermore, road construction facilitates access to forest areas, reducing the time and costs associated with transporting raw materials. Improved access enables producers to collect wood more efficiently, potentially increasing the availability of fuelwood for charcoal production (Coffin et al., 2021; Keshkamat et al., 2012), particularly in regions where fuelwood is scattered or located in hard-to-reach areas. The opening of roads can reduce transportation costs, thereby improving the profitability of production (Keshkamat et al., 2012; Sieber & Allen, 2016). By shortening the distance required to transport the wood to the kilns, operational expenses related to raw material transport are minimized (Coffin et al., 2021). However, road construction in forested areas can also contribute to deforestation and habitat fragmentation, negatively impacting biodiversity and the health of local ecosystems (Coffin et al., 2021; Keshkamat et al., 2012). Therefore, it is essential that road development be carried out in a planned and sustainable manner, taking into account the associated environmental impacts (Bailis et al., 2015; Sieber & Allen, 2016).

Conclusions

We identified different actors involved in the charcoal production process: landowners, charcoal producers, and merchants. Most of the producers are men over the age of 50, who acquired knowledge about charcoal production from different family members, such as fathers, grandfathers, uncles, or brothers. Furthermore, charcoal producers play a key role in shaping the region's forest landscape, as they manage specif-

oportunidades en la adopción de prácticas más sostenibles y en la posibilidad de acceder a mercados más justos. Por ejemplo, en Zongolica, los entrevistados mencionaron que la producción ha disminuido debido a diversos factores, como la escasez de árboles adecuados para la labor. También se ha documentado que los campesinos son conscientes de los efectos ambientales asociados a la producción de carbón, especialmente en relación con la deforestación y la degradación de los recursos forestales (Camou-Guerrero et al., 2014). La actividad se realiza de manera artesanal, empleando técnicas que no siempre son sostenibles, lo que contribuye a la pérdida de biodiversidad y a la degradación del suelo (Vega-Ortega et al., 2021). Sin embargo, algunos campesinos también ven en la producción de carbón una forma de aprovechar recursos locales y de generar ingresos, situación que genera una tensión entre la necesidad económica y la conservación del medio ambiente (Heya et al., 2014).

Las familias de la sierra de Zongolica se encuentran en constante adaptación a las nuevas condiciones sociales, políticas y culturales. Las tendencias recientes muestran que se está produciendo una sustitución de los encinos por plantaciones de pino de rápido crecimiento (López Binnquist et al., 2020), junto con un incremento en la demanda de carbón por los mercados externos a la sierra, dinámicas que pueden impactar el manejo de estas especies, promoviendo una nueva conformación del componente forestal en las parcelas, reduciendo su diversidad biológica y genética (Vega-Ortega et al., 2021). En este contexto es necesario profundizar en la dinámica de consumo de carbón vegetal fuera de la sierra, identificando los canales y la red de comercialización existente en ciudades cercanas y estados vecinos, para determinar el impacto que esta demanda puede tener sobre la dinámica productiva del sistema agroforestal tradicional de Zongolica.

Los informantes en Zongolica han mencionado que el uso de herramientas y la apertura de caminos han incrementado la producción de carbón, pero también han facilitado la sobreexplotación de los árboles destinados a esta actividad. Esto genera una reducción en el costo del producto, favoreciendo el acaparamiento por parte de los intermediarios. Esta característica ha sido ampliamente documentada en diversos estudios, donde se señala que el uso de herramientas tecnificadas puede mejorar la calidad del

ic sites or plots over long periods, guiding vegetation development based on their intended uses and goals.

The charcoal production process involves a series of successive stages aimed at generating income through the sale of the product. The tree species preferred by charcoal producers in the Sierra of Zongolica belong to the genera *Quercus* and *Alnus*, due to their significance in daily life and the various uses attributed to them. Finally, according to the charcoal producers themselves, there is a clear trend toward a decline in charcoal production in the region. They specifically attribute this decline to the scarcity of available trees resulting from overexploitation, which has led many to pursue other economic activities, such as crafting rustic furniture from pine wood.

End of English version

References / Referencias

- Aguilar-Romero, R., García-Oliva, F., Pineda-García, F., Torres, I., Peña-Vega, E., Ghilardi, A., & Oyama, K. (2016). Patterns of distribution of nine *Quercus* species along an environmental gradient in a fragmented landscape in central Mexico. *Botanical Sciences*, 94(3), 471-482. <https://doi.org/10.17129/botsci.620>.
- Ander-Egg, E. (2003). Métodos y técnicas de investigación social IV. Técnicas para la recogida de datos. Edit. LUMEN/HVMANITAS. Argentina. 116p.
- Araujo, P. A. (2019). Producción del carbón vegetal en sistemas campesinos de Santiago del Estero. Una aproximación desde el enfoque de cadena de valor. *Nexo agropecuario*, 7(1), 8-8. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/nexoagro/article/view/25219>.
- Arizaga, S., Cruz, J. M., Cabrales, M. S., & González, M. Á. B. (2009). Manual de la biodiversidad de encinos michoacanos. Instituto Nacional de Ecología (1a Ed.). México, DF.: INE-SEMARNAT. https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=Ag71XoQ8L9cC&oi=fnd&pg=PA3&dq=Manual+de+la+biodiversidad+de+encinos+michoacanos&ots=nUmQOqPB2E&sig=xvkChBolsyv92x0ExLghiF-srHI&redir_esc=y#v=onepage&q=Manual%20de%20la%20biodiversidad%20de%20encinos%20michoacanos&f=false.
- Bailis, R., Drigo, R., Ghilardi, A., & Masera, O. (2015). The carbon footprint of traditional woodfuels. *Nature Climate Change*, 5(3), 266-272. <https://doi.org/10.1038/nclimate2491>.

carbón vegetal producido (Bailis et al., 2015; Sieber & Allen, 2016). Además, la construcción de caminos facilita el acceso a áreas forestales, disminuyendo el tiempo y los costos asociados al transporte de la materia prima. Un acceso mejorado permite a los productores recolectar madera de manera más eficiente, lo que puede aumentar la disponibilidad de leña para la producción de carbón vegetal (Coffin et al., 2021; Keshkamat et al., 2012), especialmente en regiones donde la leña se encuentra dispersa o en áreas de difícil acceso. La apertura de caminos puede reducir los costos de transporte, mejorando así la rentabilidad de la producción (Keshkamat et al., 2012; Sieber & Allen, 2016). Al disminuir la distancia recorrida para transportar la leña hasta los hornos, se minimizan los gastos operativos relacionados con el transporte de la materia prima (Coffin et al., 2021). No obstante, la construcción de caminos en áreas forestales también puede contribuir a la deforestación y a la fragmentación del hábitat, afectando la biodiversidad y la salud de los ecosistemas locales (Coffin et al., 2021; Keshkamat et al., 2012). Por ello, es fundamental que la apertura de caminos se realice de manera planificada y sostenible, considerando los impactos ambientales asociados (Bailis et al., 2015; Sieber & Allen, 2016).

Conclusiones

Identificamos diferentes actores involucrados en el proceso de elaboración de carbón vegetal: los dueños, los carboneros y los comerciantes. La mayoría de los productores son varones mayores de 50 años, quienes adquirieron el conocimiento sobre la producción de carbón vegetal a través de diversos familiares, como padres, abuelos, tíos o hermanos. Además, son precisamente los carboneros quienes modelan el paisaje forestal de la región, ya que manejan sitios o terrenos durante largos períodos, configurando la vegetación de acuerdo con sus objetivos.

El proceso de elaboración del carbón vegetal implica una serie de etapas sucesivas destinadas a generar ingresos a través de la venta del producto. Las especies de árboles preferidas por los carboneros en la sierra de Zongolica para la producción de carbón pertenecen a los géneros *Quercus* y *Alnus*, debido a su importancia en la vida cotidiana por los diversos usos que les atribuyen. Finalmente, según la percep-

- Bainbridge, D. A. (1986). *Quercus*, a multi-purpose tree for temperate climates. *International Tree Crops Journal*, 3(4), 291-298. <https://doi.org/10.1080/01435698.1986.9752800>.
- Borgatti, S. P., M. G. Everett, & Freeman, L. C. (2002). UCI-NET 6 for Windows: Software for Social Network Analysis (V.6.29). Harvard Analytic Technologies. 47p.
- Butler, S. M., Butler, B. J., & Markowski-Lindsay, M. (2017). Family forest owner characteristics shaped by life cycle, cohort, and period effects. *Small-Scale Forestry*, 16, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11842-016-9333-2>.
- Byron, N. (2001). Keys to smallholder forestry. *Forests, Trees and Livelihoods*, 11(4), 279-294. <https://doi.org/10.1080/14728028.2001.9752396>.
- Camou-Guerrero, A., Ghilardi, A., Mwampamba, T., Serrano, M., Avila, T. O., Vega, E., ... & Masera, O. (2016). Análisis de la producción de carbón vegetal en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán, México: implicaciones para una producción sustentable. *Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública*, 6(2). https://www.researchgate.net/profile/Adrian-Ghilardi/publication/304778080_Analisis_de_la_produccion_de_carbon_vegetal_en_la_Cuenca_del_Lago_de_Cuitzeo_Michoacan_Mexico_implicaciones_para_una_produccion_sustentable/links/577a526b08aece6c20fbc7f0/Analisis-de-la-produccion-de-carbon-vegetal-en-la-Cuenca-del-Lago-de-Cuitzeo-Michoacan-Mexico-implicaciones-para-una-produccion-sustentable.pdf.
- Challenger, A., & Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres. *Capital natural de México*, 1, 87-108.
- Coffin, A. W., Ouren, D. S., Bettez, N. D., Borda-de-Água, L., Daniels, A. E., Grilo, C., ... & Rauschert, E. (2021). The ecology of rural roads: Effects, management, and research. *Biological, Geological, and Environmental Faculty Publications*. 251, 1-38. https://engagedscholarship.csuohio.edu/scibges_facpub/251.
- Del Tredici, P., 2001. Sprouting in temperate trees: A morphological and ecological review. *Botanical Review*, 67(2), pp.121-140. <https://doi.org/10.1007/BF02858075>.
- Del Val, J., Rodríguez, N., Rubio, M., Sánchez-García, C., & Zolla, C. (2008). Los pueblos indígenas y los indicadores de bienestar y desarrollo "Pacto del Pedregal". Informe preliminar. Documento de trabajo. VII sesión del Fondo Permanente para las Cuestiones Indígenas. Organización para las Naciones Unidas. México D.F. 185p.
- Eniola, P. O., & Odebode, S. O. (2018). Rural dwellers' perception of effect of charcoal production on the environment in Guinea savannah zone of Nigeria. *Journal of Scientific Research & Reports*, 19(1), 1-12. <https://doi.org/10.9734/JSRR/2018/39422>.
- ción de los propios carboneros, existe una tendencia clara hacia la disminución de la producción de carbón vegetal en la región. En particular, señalan que esto se debe a la escasez de árboles disponibles para trabajar, resultado de la sobreexplotación, lo cual los ha llevado a dedicarse a otras actividades económicas, como la fabricación de muebles rústicos de madera de pino.

Fin de la versión en español

FAO. (2017). The Charcoal Transition. Greening the charcoal value chain to mitigate climate change and improve local livelihoods. (J. Van Dam, Ed.). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Pp. 184. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i6935e.pdf>.

Flick, U. (2015). El diseño de la investigación cualitativa (Vol. 1). Ediciones Morata. Madrid. Pp.200.

Girard, P. (2023). From family to markets. How institutional determinants of rural youth transitions have changed in Senegal and Zambia over time. *Journal of Rural Studies*, 101, 103040. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.103040>.

Gual-Díaz, M. G., Correa, A. R., & Méndez, R. M. (2020). Especies vegetales con uso combustible por comunidades rurales mexicanas. *Revista Etnobiología*. Vol, 18(3), 113-135.

Häyriinen, L., Mattila, O., Berghäll, S., & Toppinen, A. (2015). Forest owners' socio-demographic characteristics as predictors of customer value: evidence from Finland. *Small-Scale Forestry*, 14, 19-37. <https://doi.org/10.1007/s11842-014-9271-9>.

Heya, M. N., Maiti, R., Pournavab, R. F., Carrillo-Parra, A., Heya, M. N., Pournavab, R. F., ... & Salas Cruz, L. R. (2017). Timber-yielding plants of the Tamaulipan thorn scrub: Forest, fodder, and bioenergy potential. *Biology, productivity and bioenergy of timber-yielding plants: an experimental technology*, 1-119. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61798-5_1.

INEGI. (2007). Atlas agropecuario de México: Censo agropecuario 2007. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, D. F. 50p.

Keshkamat, S. S., Tsendbazar, N. E., Zuidgeest, M. H. P., van der Veen, A., & de Leeuw, J. (2012). The environmental impact of not having paved roads in arid regions: An example from Mongolia. *Ambio*, 41, 202-205. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0155-3>.

Levasseur, V., & Olivier, A. (2000). The farming system and traditional agroforestry systems in the Maya community of San

- Jose, Belize. *Agroforestry systems*, 49(3), 275-288. <https://doi.org/10.1023/A:1006327403980>.
- Long, A. J., & Nair, P. R. (1999). Trees outside forests: agro-community, and urban forestry. *New Forest*, 17, 145-174. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2689-4_12.
- López Binnqüist, C., Gerez-Fernández, P., Vega-Ortega, M. A., Martínez-Barrientos, C. C., & Cerdan-Cabrera, R. (2020). Manejo de sistemas agroforestales con dendroenergía en la Sierra de Zongolica, Veracruz. In A.I. Moreno-Calles M.L. Soto-Pinto M.M. Cariño-Olvera J. M. Palma-García S. Moctezuma-Pérez J.J. Rosales-Adame & P.I. Montañez-Escalante V.J. Sosa-Fernández & M.R. Ruenes-Morales, et al. (Eds.), *Los sistemas agroforestales de México. Avances, experiencias, acciones y temas emergentes*. Red Temática de Sistemas Agroforestales de México, Morelia, México: UNAM, CONACYT, INECOL, ECOSUR. <http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/3381>.
- Masera, O., Coralli, F., García, C., Riegelhaupt, E., Arias, T., Vega, J., ... & Cecotti, L. (2011). La bioenergía en México. Situación actual y perspectivas. Red Mexicana de Bioenergía, AC. México, 44p.
- Medina-Chena, A., Salazar Chimal, T. E., & Álvarez Palacios, J. L. (2010). Fisiografía y suelos. Gobierno del Estado de Veracruz. Xalapa, Ver. 15p.
- Moreno-Calles, A. I., Luna, V. J. G., Fernández, A. C., Toledo, V. M., Ramos, M. V., Fita, D. S., & Guerrero, A. C. (2014). Etnoagroforestería: El estudio de los sistemas agroforestales tradicionales de México. *Etnobiología*, 12(3), 1-16. <https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/167>.
- Mwampamba, T., Ghilardi, A., Sander, K., & Chaix, K. (2013). Dispelling common misconceptions to improve attitudes and policy outlook on charcoal in developing countries. *Energy for Sustainable Development*, 17(2), 75-85. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.01.001>.
- Nabukalu, C., & Gieré, R. (2019). Charcoal as an energy resource: Global trade, production and socioeconomic practices observed in Uganda. *Resources*, 8(4), 183. <https://doi.org/10.3390/resources8040183>.
- Naeher, L. P., Brauer, M., Lipsett, M., Zelikoff, J. T., Simpson, C. D., Koenig, J. Q., & Smith, K. R. (2007). Woodsmoke health effects: a review. *Inhalation Toxicology*, 19(1), 67-106. <https://doi.org/10.1080/08958370600985875>.
- Palacios Rodríguez, O. A. (2021). La teoría fundamental: origen, supuestos y perspectivas. *Intersticios Sociales*, (22), 47-70. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-49642021000200047&script=sci_arttext.
- Pérez-Olvera, C. de la P., Dávalos Sotelo, R., & Guerrero Cuaculi, E. (2000). Aprovechamiento de la madera de encino en México. *Madera y Bosques*, 6(1), 3-13. <https://doi.org/10.21829/myb.2000.611338>.
- Rai, Y. K., Chettri, N., & Sharma, E. (2002). Fuel wood value index of woody tree species from Mamlay watershed in South Sikkim, India. *Forests, Trees and Livelihoods*, 12(3), 209-219. <https://doi.org/10.1080/14728028.2002.9752425>.
- Rodríguez-López, M. T. (2000). Ritual, identidad y procesos étnicos entre los nahuas de la Sierra de Zongolica, Veracruz (Doctoral dissertation, Tesis de Doctorado en Ciencias Antropológicas), México, Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa, México. 270p.
- Rodríguez-Sabiote, C. (2003). Nociones y destrezas básicas sobre el análisis de datos cualitativos. El proceso de Investigación en educación, algunos elementos claves. República Dominicana. Pp. 10-11. <http://biblioteca.udgvirtual.udg.mx/jspui/handle/123456789/1037>.
- Shukla, R., Agarwal, A., Gornott, C., Sachdeva, K., & Joshi, P. K. (2019). Farmer typology to understand differentiated climate change adaptation in Himalaya. *Scientific Reports*, 9(1), 20375. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56931-9>.
- Sieber, N., & Allen, H. (2016). Impacts of rural roads on poverty and equity. *Transport and Communications Bulletin for Asia and the Pacific*, 86, 23-40.
- SPSS, I. I. B. M. (2019). IBM SPSS statistics for Windows, version 25.0. New York: IBM Corp. Pp. 440.
- Stajic, B., Zlatanov, T., Velichkov, I., Dubravac, T. & Trajkov, P. (2009). Past and recent coppice forest management in some regions of Southeastern Europe. *Silva Balcanica*, 10(1), 9-19. https://www.researchgate.net/profile/Branko-Stajic/publication/266850794_Past_and_recent_coppice_forest_management_in_some_regions_of_South_Eastern_Europe/links/543d10c80cf2c432f74246a3/Past-and-recent-coppice-forest-management-in-some-regions-of-South-Eastern-Europe.pdf.
- Starke, A. P., Geldenhuys, C. J., O'Connor, T. G., & Everson, C. S. (2020). Forest and woodland expansion into forestry plantations informs screening for native agroforestry species, Maputaland South Africa. *Forests, Trees and Livelihoods*, 29(1), 1-15. <https://doi.org/10.1080/14728028.2019.1670740>.
- Trossero, M. A. (2002). Dendroenergía: perspectivas de futuro. *Unasylva*, 53(211), 3-12.
- Vega-Ortega, M. Á., Llanderal-Mendoza, J., Gerez-Fernández, P., & López Binnqüist, C. (2021). Genetic diversity in oak populations under intensive management for fuelwood in the Sierra de Zongolica, Mexico. *Annals of Applied Biology*, 178(1), 80-97. <https://doi.org/10.1111/aab.12639>.

- Vega-Ortega, M. Á., Gerez-Fernández, P., López Binnqüist, C., Sierra-Huelsz, J. A. & o Gallardo-Yobal, S. I. (2021). Manejo por rebrote para carbón vegetal en parcelas agroforestales de la sierra de Zongolica, México: estructura y composición arbórea. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 28 (54), 1-23. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.5861>.
- Wolf, F., & Vogel, E. (1985). Manual para la producción de carbón vegetal con métodos simples. Reporte Científico No. 2. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables. Monterrey, Nuevo León. 19p. <https://cd.dgb.uanl.mx/bitstream/handle/201504211/7162/19347.pdf?sequence=1>.
- Zulu, L. C., & Richardson, R. B. (2013). Charcoal, livelihoods, and poverty reduction: Evidence from sub-Saharan Africa. *Energy for Sustainable Development*, 17(2), 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.07.007>.



Importance of ornamental fish production as livelihood strategy of the families of Tlaltizapán of Zapata and Zacatepec Morelos, México

Erika Román Montes de Oca¹

Diana Milena Cortés Gil^{1*}

Alejandro García Flores²

Jesús Eduardo Licea Resendiz¹

María Inés Ayala Enriquez²

Araceli Tegoma Coloreano³

Abstract

Farming families adapt to the economic and social changes that arise in the country through the diversification of their productive activities, in order to implement strategies for a better life; one of these is the cultivation of ornamental fish, an activity that benefits from its high profitability. The impact of ornamental fish production as a livelihood strategy was analyzed based on the perception of aquaculturists in the municipalities of Tlaltizapán de Zapata and Zacatepec, Morelos, Mexico. The methodology was exploratory, 24 interviews and field visits were carried out. It was found that ornamental fish farming generates the highest income (91%) compared to other activities; family work is notorious in most (78%) of farms, creating direct employment for 30 people, benefiting more than 50 households and specialize in eight species of fish that are nationally renowned. It is an important activity that forms part of the livelihood strategies of farming families because it is their main source of income, which allows them to enjoy a better quality of life.

Keywords: Ornamental aquaculture; fish farmers; family units; diversification of activities; rural development.

Importancia de la producción piscícola ornamental como estrategia de vida de las familias de Tlaltizapán de Zapata y Zacatepec, Morelos, México

Resumen

Las familias campesinas se adaptan a los cambios económicos y sociales que surgen en el país a través de la diversificación de sus actividades productivas, con la finalidad de implementar estrategias para una vida mejor; una de estas es el cultivo de peces de ornato, actividad que beneficia por su alta rentabilidad. Se analizó el impacto de la producción de peces ornamentales como estrategia de vida, a partir de la percepción de los acuicultores de los municipios de Tlaltizapán de Zapata y Zacatepec, Morelos, México. La metodología fue tipo exploratoria, se llevaron a cabo 24 entrevistas y recorridos de campo. Se encontró que la piscicultura ornamental genera el mayor ingreso (91 %) en comparación con otras actividades; el trabajo familiar es notorio en la generalidad (78 %) de las granjas, crea empleos directos a 30 personas, beneficia a más de 50 hogares y se especializan en ocho especies de peces que destacan a nivel nacional. Es una actividad importante que forma parte de las estrategias de vida de las familias productoras porque es su principal ingreso, el cual les permite tener una mejor calidad de vida.

Palabras clave: Acuicultura ornamental; piscicultores; unidades familiares; diversificación de actividades; desarrollo rural.

¹ Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ave. Universidad núm. 1001, Colonia Chamilpa, C. P. 62209, Cuernavaca Morelos.

² Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Centro de Investigaciones Biológicas, Ave. Universidad núm. 1001, Colonia Chamilpa, C. P. 62209, Cuernavaca Morelos.

³ Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, Ave. Universidad núm. 1001, Colonia Chamilpa, C. P. 62209, Cuernavaca Morelos.

*Corresponding author: diana.cortesg@uaem.edu.mx Tel: 7772960972, ORCID ID: 0000-0002-0527-1956

Introduction

Ornamental aquaculture had its roots in China, around 3500 BC. when varieties of goldfish (*Carassius auratus*) were first used as ornamental fish (CICESE, 2005 in Ramírez-Martínez et al., 2010); later, during the Song Dynasty (960 to 1279 AD), this activity gained popularity, and in the 14th century industrial production of porcelain fish tanks began (Ma et al., 2003). In the 17th century the Portuguese brought the first fish to Europe (EPSUA, 2002); later, in the 20th century, they were brought to the United States, becoming popular throughout the world in the 1920s, especially in North America (Andrews, 1990).

Developing countries play a transcendental role in the production of ornamental fish, some estimates show that nearly 60% of international trade originates in these nations, mainly in Asia (Yadav & Sharma, 2022). This activity is growing steadily and is well-received in global markets, as fish are one of the most popular pets in the world (Pountney, 2023); this has led to an increase in production due to demand and the economic and social importance it generates for producing families.

In Mexico, the hobby of fishkeeping emerged as an industry in the 1950s, driven by the creation of the first public aquariums. In the 1970s, the first commercial farms dedicated to raising ornamental fish emerged (SADER, 2022) and since then, this activity has grown and evolved, expanding into local, national, and international markets (SADER, 2021).

Currently, annual production is estimated at around 20 million specimens, of which the state of Morelos accounts for 50% of the national total (SADER, 2021). However, this activity is carried out in 20 federal entities, with Jalisco, Veracruz, Yucatán and the Estado de México also standing out for their significant participation in ornamental fish breeding (SADER, 2021).

Forty million fish of different farmed species are sold annually, 48% are imported, while the remaining 52% are produced locally and used to decorate aquariums. This translates into an annual income of approximately 1.650 million pesos (MXN) from retail trade. The three main markets in Mexico are Mexico City, Monterrey and Guadalajara, with the center of the country being the epicenter of distribution and marketing (SADER, 2021).

Introducción

La piscicultura ornamental tuvo sus raíces en China, alrededor del año 3500 a. C. cuando empezaron a emplear variedades de carpa dorada (*Carassius auratus*) como peces de ornato (CICESE, 2005 en Ramírez-Martínez et al., 2010); posteriormente, durante la dinastía de Song (960 a 1279 d.C.) esta actividad ganó popularidad y en el siglo XIV se inició la producción industrial de peceras de porcelana (Ma et al., 2003). En el siglo XVII los portugueses trasladaron los primeros peces a Europa (EPSUA, 2002); posteriormente, en el siglo XX a Estados Unidos, haciéndose populares en los años veinte en todo el mundo, especialmente en Norteamérica (Andrews, 1990).

Los países en desarrollo juegan un papel trascendental en la producción de peces de ornato, algunas estimaciones muestran que casi el 60 % del comercio internacional se origina en estas naciones, principalmente en Asia (Yadav & Sharma, 2022). Es una actividad que cada día va creciendo y tiene buena aceptación en los mercados mundiales, puesto que los peces son una de las mascotas más populares del mundo (Pountney, 2023); lo que causa el incremento de su producción por la demanda y la importancia económica y social que genera a las familias productoras.

En México, la afición por el acuarismo emergió como una industria en la década de 1950, impulsada por la creación de los primeros acuarios públicos. En los setenta, surgieron las primeras granjas comerciales dedicadas a la crianza de peces ornamentales (SADER, 2022) y desde entonces, esta actividad ha crecido y evolucionado, expandiéndose hacia mercados locales, nacionales e internacionales (SADER, 2021).

Actualmente, la producción anual se estima en cerca de 20 millones de ejemplares, de los cuales el estado de Morelos concentra el 50 % del total nacional (SADER, 2021). No obstante, esta actividad se desarrolla en 20 entidades federativas, destacando también Jalisco, Veracruz, Yucatán y el Estado de México por su participación significativa en la crianza de peces ornamentales (SADER, 2021).

Se comercializan anualmente 40 millones de peces de diferentes especies cultivadas, el 48 % proviene de importaciones, mientras que el 52 % restante se produce localmente, estas son destinadas para decorar acuarios. Lo que se traduce en un ingreso de al-

Ornamental fish farming in the state of Morelos was initially introduced in the municipalities of Jiutepec, Yautepec and Cuautla in the late 1970s (SEPESCA, 1988 in Ramírez-Martínez et al., 2010). It was implemented as an alternative for productive diversification and employment generation alternative to less profitable traditional and local crops, such as corn, sugarcane, and beans, among others.

According to the most recent inventory carried out by the Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (National Commission of Aquaculture and Fisheries Conapesca by its Spanish abbreviation) and the Instituto Nacional de Pesca (National Fisheries Institute Inapesca, currently Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuacultura Sustentable (Mexican Institute for Research in Fisheries and Sustainable Aquaculture IMIPAS by its Spanish abbreviation), there are 84 Animal Production Units (UPAs), in Morelos, distributed in 17 of the 36 municipalities of the state. These units generate approximately 13.2 million organisms per year. Ornamental fish production predominates with 64% of these units, in contrast to the production for consumption, which represents 36%. Ornamental aquaculture in the region is based on 42 varieties, including Japanese fish, zebra, guppy, molly and carp.

It is an occupation that requires little space and minimal initial investment; therefore, family or small-scale fish farmers looking to diversify their income are increasingly incorporating it as a primary economic activity. Small-scale fish farming takes place in a traditional rural environment, where production is perceived as an essentially male task; however, women who participate in farm activities stand out in post harvest tasks and in fish marketing. In Mexico, 70% of fish farming production corresponds to this type of family system (Ramírez-Martínez et al., 2010), as well as in countries such as India (Parappurathu et al., 2021), Singapore (Monticini, 2010) and the Czech Republic (Novák et al., 2022).

This research aims to expose and document ornamental fish production as a livelihood strategy, since it may be the main or most important productive axis in the municipalities studied. Understanding life strategy as: approaches, methods, behaviors or activities that are carried out within the family environment with the purpose of ensuring survival, social reproduction or simply to improve the conditions of quality

rededor de 1 650 millones de pesos M.N. anuales, por concepto de comercio minorista. Los tres principales mercados en México son la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara, siendo el centro del país el epicentro de distribución y comercialización (SADER, 2021).

La piscicultura ornamental en el estado de Morelos se introdujo inicialmente en los municipios de Jiutepec, Yautepec y Cuautla a finales de los años setenta (SEPESCA, 1988 en Ramírez-Martínez et al., 2010). Se implementó como una alternativa de diversificación productiva y generación de empleo, frente a cultivos tradicionales menos rentables y locales, como el maíz, la caña de azúcar y el frijol, entre otros.

De acuerdo con el inventario más reciente realizado por la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (Conapesca) y el Instituto Nacional de Pesca (Inapesca, actualmente IMIPAS (Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuacultura Sustentable), en Morelos se localizan 84 Unidades de Producción Animal (UPAs), distribuidas en 17 de los 36 municipios de la entidad. Estas unidades generan aproximadamente 13.2 millones de organismos al año. La producción de peces ornamentales predomina con el 64 % en unidades de producción, en contraste con la destinada al consumo, que representa el 36 %. La acuacultura ornamental en la región se basa en 42 variedades, entre las cuales destacan el pez japonés, la cebrá, el guppy, el molly y la carpa.

Es una ocupación que requiere de poco espacio y de mínima inversión inicial; por ello, los piscicultores familiares o a pequeña escala en busca de diversificar sus ingresos la van incorporando cada vez más como una actividad económica principal. La piscicultura a pequeña escala se desarrolla en un entorno rural tradicional, donde la producción se percibe como una labor esencialmente masculina; sin embargo, las mujeres que participan en las actividades de la granja destacan en tareas de postcosecha y en la comercialización de los peces. En México el 70 % de la producción piscícola corresponde a este tipo de sistema familiar (Ramírez-Martínez et al., 2010), al igual que en países como India (Parappurathu et al., 2021), Singapur (Monticini, 2010) y la República Checa (Novák et al., 2022).

Esta investigación busca exponer y documentar la producción de peces de ornato como estrategia de vida, ya que puede ser el eje productivo principal o de los más importantes en los municipios de estudio. Entendiendo estrategia de vida como: enfoques, méto-

of life (Camargo-Sierra, 2020). They are determined by internal or external situations within the family unit, which are faced individually. They are dynamic because they are changing throughout the life process, they are structured under a productive and socioeconomic logic, they look to maximize labor and control over their own assets, in order to obtain economic or other resources to satisfy the basic needs of the family unit (Román-Montes de Oca, 2016). Camargo-Sierra (2020, p. 105); also considers that:

...the motivations and agency capacity of participants in society and its relevance, lies in understanding the effects on the household economy imposed by the constant changes inherent to the globalization process and post-Fordist economies... [In life strategies], [one] looks for a point of intersection between social structures and household behavior decisions.

The permanence and growth of this innovative activity in the state show its capacity to adapt to the Morelos territories, as well as its adoption by producers, who included it as their life strategies to improve their family welfare.

Therefore, it is essential to analyze the impact this activity has on the livelihoods of family units. The study also aims to provide inputs for future fish farming research by analyzing livelihood strategies from the perspective of the farmers themselves, an approach that has been little explored so far.

The research focused on two of the municipalities with the highest fish production in the state: Tlaltizapán de Zapata and Zacatepec.

Materials and Methods

The state of Morelos is characterized by a significant presence of fish farming production units, especially dedicated to the breeding of ornamental fish (CE-SAEM, 2020a), municipalities such as Ayala, Jiutepec, Tlaltizapán de Zapata and Zacatepec have developed this activity since the 1970s, boosted by favorable climatic conditions and productive promotion programs.

The work was carried out in the state of Morelos, Mexico, which is located to the north at 19° 07', to the

dos, conductas o actividades que se realizan dentro del entorno familiar con el propósito de asegurar la supervivencia, reproducción social o simplemente para mejorar las condiciones de la calidad de vida (Camargo-Sierra, 2020). Se determinan por situaciones internas o externas de la unidad familiar, las cuales se enfrentan de manera individual. Son dinámicas porque van cambiando durante el proceso de vida, se estructuran bajo una lógica productiva y socioeconómica, buscan maximizar la mano de obra y el control sobre sus propios activos, con la finalidad de obtener recursos económicos o de otro tipo para satisfacer las necesidades básicas de la unidad familiar (Román-Montes de Oca, 2016). Camargo-Sierra (2020, p. 105); además considera que:

... las motivaciones y la capacidad de agencia de los actores en la sociedad y su relevancia, radica en comprender los efectos sobre la economía de los hogares que imponen los constantes cambios inherentes al proceso de globalización y a las economías posfordistas... [En las estrategias de vida], [se] busca un punto de intersección entre las estructuras sociales y el comportamiento y las decisiones de los hogares.

La permanencia y el crecimiento de esta actividad innovadora en el estado evidencian su capacidad de adaptación a los territorios morelenses, así como su adopción por parte de los productores, quienes la incluyeron como sus estrategias de vida para mejorar su bienestar familiar.

Por ello, resulta fundamental analizar el impacto que esta actividad tiene dentro de los medios de vida de las unidades familiares. El estudio también tiene como objetivo aportar insumos para investigaciones piscícolas futuras, a través del análisis de las estrategias de vida desde la perspectiva de los propios productores, un enfoque poco explorado hasta ahora.

La investigación se centró en dos de los municipios con mayor producción piscícola en el estado: Tlaltizapán de Zapata y Zacatepec.

Materiales y Métodos

El estado de Morelos se caracteriza por una importante presencia de unidades de producción piscícola, especialmente dedicadas a la crianza de peces ornamenta-

south 18° 22' north latitude, while to the east 93° 37' and to the west 99° 30' longitude; it is in the central zone of the country, bordering the states of Puebla, Guerrero, Estado de México and Mexico City (INEGI, 2020).

The study was directed to people representing farms that produce ornamental fish in the municipalities of Tlaltizapán de Zapata and Zacatepec.

The municipality of Tlaltizapán de Zapata has an altitude of 940 masl and an area of 238.06 km². It has 52 399 inhabitants; the majority (95%) of its towns are rural, with a population of less than 2 500 (INEGI, 2020). The economically active population is 50%, which is mainly employed (43%) in services; 15% in the primary sector, 25% in the secondary sector and 16% in commerce (INEGI, 2017).

Zacatepec is smaller in area with 2 395 km² and is located to the south at an altitude of 912 masl and has 36 094 inhabitants. The largest proportion of the population (90%) is rural because its towns do not exceed 2 500 inhabitants (INEGI, 2020). The economically active population is 47%, which is mainly inserted (52%) in services; the primary sector is a minority with 4%, 21% in the secondary sector and 20% in the commercial sector (INEGI, 2017) (Figure 1).

The climate of this region is characterized as warm subhumid with rains in summer, with average precipitation of 800 to 1000 mm and an average maximum temperature of 26 °C, average minimum of 22 °C in Tlaltizapán de Zapata and minimum of 24 °C in Zacatepec (INEGI, 2017).

In Tlaltizapán de Zapata, agricultural production predominates, followed by livestock (SIACON, 2019) and fish farming (CESAEM, 2020b). It has an agricultural area of 7,308 ha, 68% of which is irrigated and the remaining 32% is rainfed (INEGI, 2007). In Zacatepec, livestock production also stands out, followed by fish farming in relation to the value of production (SIACON, 2019; CESAEM, 2020b), it has an agricultural area of 1,045 ha, 79% of which is irrigated and 21% is rainfed (INEGI, 2007).

The research was exploratory (Ramos-Galarza, 2020), which facilitated examining and understanding in depth the role of fish farming within family livelihood strategies, based on the objective and detailed description and characterization of the information obtained, thus allowing the construction of a com-

les (CESAEM, 2020a), municipios como Ayala, Jiutepec, Tlaltizapán de Zapata y Zacatepec han desarrollado esta actividad desde la década de 1970, impulsada por condiciones climáticas favorables y programas de fomento productivo.

El trabajo se llevó a cabo en el estado de Morelos, México, el cual se encuentra al norte a 19° 07', al sur 18° 22' de latitud norte, mientras que al este 93° 37' y al oeste 99° 30' de longitud; está en la zona centro del país, colinda con los estados de Puebla, Guerrero, Estado de México y Ciudad de México (INEGI, 2020).

El estudio se dirigió a las personas representantes de granjas que producen peces de ornato en los municipios de Tlaltizapán de Zapata y Zacatepec.

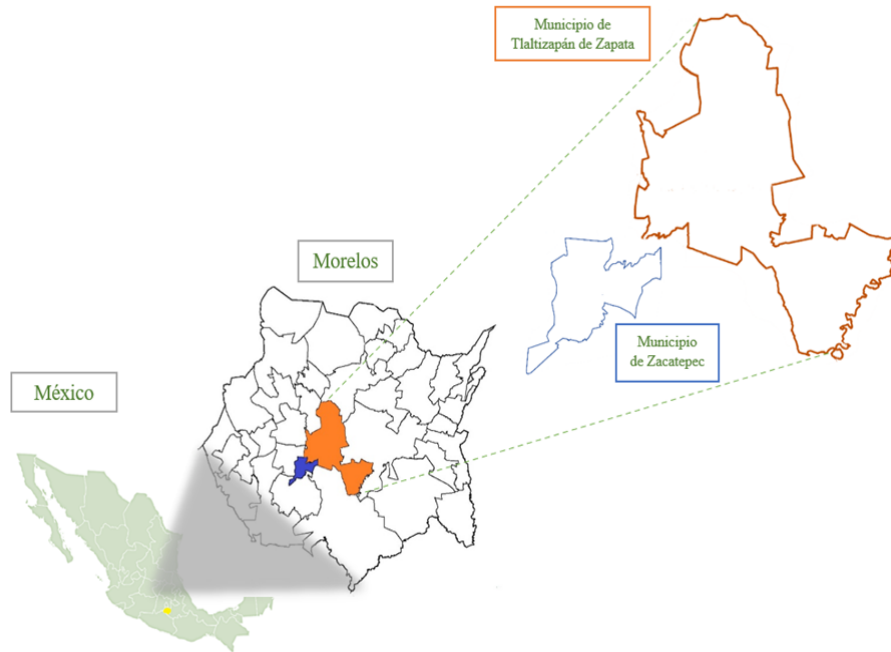
El municipio de Tlaltizapán de Zapata tiene una altitud de 940 msnm y una superficie de 238.06 km². Cuenta con 52 399 habitantes; la mayor proporción (95 %) de sus localidades son de tipo rural, ya que no superan los 2 500 habitantes (INEGI, 2020). La población económicamente activa es de 50 % que se inserta principalmente (43 %) en servicios; el 15 % en el sector primario, 25 % en el secundario y 16 % en el de comercio (INEGI, 2017).

Zacatepec es más pequeño en extensión con 2 395 km² y se localiza al sur con una altitud de 912 msnm y tiene 36 094 habitantes. La mayor proporción de la población (90 %) es de tipo rural porque sus localidades no superan los 2 500 habitantes (INEGI, 2020). La población económicamente activa es de 47 % que se inserta principalmente, (52 %) en servicios; el sector primario es minoritario con 4 %, 21 % en el sector secundario y 20 % en el comercial (INEGI, 2017) (Figura 1).

El clima de esta región se caracteriza por ser cálido subhúmedo con lluvias en verano, con precipitación promedio de 800 a 1000 mm y una temperatura máxima promedio de 26 °C, mínima promedio de 22 °C en Tlaltizapán de Zapata y mínima de 24 °C en Zacatepec (INEGI, 2017).

En Tlaltizapán de Zapata predomina la producción agrícola, seguido de la ganadera (SIACON, 2019) y la piscicultura (CESAEM, 2020b). Tiene una superficie agrícola de 7 308 ha, el 68 % de éstas cuenta con riego y el 32 % restante son de temporal (INEGI, 2007). En Zacatepec también destaca la producción pecuaria, seguida de la piscícola con relación al valor de la producción (SIACON, 2019; CESAEM, 2020b), tiene una

Figure 1. Location of Tlaltizapán de Zapata y Zacatepec, Morelos.
Figura 1. Localización de Tlaltizapán de Zapata y Zacatepec, Morelos.



Source: Self-made based on Google Maps, 2023 data.
Fuente: Elaboración propia con base en Google Maps, 2023.

prehensive vision of the phenomenon (Esteban-Nieto, 2018).

The data collection technique was a semi structured interview applied to the producer to engage in a conversation about topics defined towards the purposes to be analyzed. This method opens the possibility of capturing, understanding and interpreting participants' experiences from their own perspective; this is a result of the interaction between the interviewer and the interviewee, which allows a deeper and more authentic understanding of individual experiences (Villarreal-Puga & Cid-García, 2022).

The guide that was made for the semi structured interview of the present study has 102 items, which were divided into:

- Generalities about the interviewee such as: socio-economic characteristics of the farm representative and his family, as well as training.
- Identification and general characteristics of fish farming production and marketing: ornamental fish breeding, problems in technical management and marketing.

superficie agrícola de 1 045 ha, el 79 % de esta, cuenta con riego y el 21 % es de temporal (INEGI, 2007).

La investigación fue de tipo exploratoria (Ramos-Galarza, 2020), lo que facilitó examinar y comprender en profundidad el papel de la piscicultura dentro de las estrategias de vida familiares, a partir de la descripción y caracterización objetiva y detallada de la información obtenida, permitiendo así construir una visión integral del fenómeno (Esteban-Nieto, 2018).

La técnica de recolección de datos fue una entrevista semiestructurada aplicada al productor con el fin de tener una conversación sobre temas definidos hacia los propósitos que se quieren analizar. Mediante este método se abre la posibilidad de captar, comprender e interpretar las vivencias de los participantes desde su propia perspectiva; esto como resultado de la interacción entre el entrevistador y el entrevistado, lo que permite una comprensión más profunda y auténtica de las experiencias individuales (Villarreal-Puga & Cid-García, 2022).

La guía que se realizó para la entrevista semiestructurada del presente estudio tiene 102 ítems, que se dividieron en:

- Various activities carried out by producers as part of their livelihood strategies.

The facts were recorded from September 2021 to April 2022, field visits were carried out with photographs and recordings.

The non-probability snowball sampling method used for this study was used, this method consists of contacting an individual who provides information about another with the desired characteristics, and so on until information saturation is achieved (González-García et al., 2018). Interviews were conducted individually with 24 producers, 13 from Tlaltizapán de Zapata and 11 from Zacatepec; some were recorded with prior authorization from the fish farmers. To achieve an initial and direct contact with the people in charge of the farms, the Morelos State Aquaculture Health Committee (Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Morelos, Cesaem by its Spanish abbreviation) was contacted through the State Secretariat of Agricultural Development (Secretaría de Desarrollo Agropecuario SDA by its Spanish abbreviation), which allowed the location of some farms in each municipality.

To facilitate the study process, Excel program was used to systematize the interview responses; once the information was transcribed and categorized into tables and graphs, the results were analyzed.

Results and Discussion

Fish farming is an activity implemented with the purpose of generating greater income for inhabitants of rural communities; it is carried out in a traditional environment, with a family production that involves household members and generates economic resources.

Interviewees' Overview

Male leadership predominates in households, concentrated on 91% of farms. This situation is related to the traditional role of the head of household and the gender distribution of tasks in rural contexts, where farm work is often perceived as heavy, involving travel, administrative tasks and other responsibilities typically assumed by men. Furthermore, many of these farms are located in the middle of cultivated areas, which reinforces this division of roles.

The age ranges of the producers interviewed in Tlaltizapán de Zapata show that the majority (54%)

- Generalidades del entrevistado como: características socioeconómicas del representante de la granja y su familia, así como capacitaciones.
- Identificación y características generales de la producción y comercialización piscícola: cría de peces de ornato, problemas en el manejo técnico y comercialización.
- Diversas actividades que llevan a cabo los productores como parte de las estrategias de vida.

Los hechos se registraron durante septiembre de 2021 a abril de 2022, se realizaron recorridos de campo con fotografías y grabaciones.

El tipo de muestreo que se utilizó para este trabajo fue no probabilístico llamado bola de nieve, que consiste en contactar a un individuo quien proporciona información sobre otro con las características que se buscan y, así sucesivamente hasta lograr la saturación de la información (González-García et al., 2018). Las entrevistas se realizaron de manera individual a 24 productores, 13 de Tlaltizapán de Zapata y 11 de Zacatepec; algunas fueron grabadas con previa autorización de los piscicultores. Para lograr un contacto inicial y directo con las personas encargadas de las granjas, se contactó al Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Morelos (Cesaem) a través de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado (SDA), el cual permitió la ubicación de algunas granjas en cada municipio.

Para facilitar el proceso de estudio se apoyó en el programa Excel para la sistematización de las respuestas de las entrevistas; una vez transcrita y categorizada la información en tablas y gráficas se procedió al análisis de los resultados.

Resultados y Discusión

La piscicultura es una actividad que se implementó con la finalidad de generar mayores ingresos a los habitantes de las comunidades rurales; se desarrolla en un entorno tradicional, con una producción de carácter familiar que involucra a los integrantes del hogar y genera recursos económicos.

Generalidades de los entrevistados

El liderazgo masculino sobresale en los hogares, concentrándose en el 91 % de las granjas. Esta situación se relaciona con el rol tradicional del jefe de familia y la distribución de tareas por género en contextos ru-

are between 30 and 50 years old; in Zacatepec, 64% are between 51 and 70 years old. These data indicate that the majority are over 30 years old and are of productive age (Figure 2).

The families interviewed in the two municipalities are mainly nuclear (91%), the rest are extended.

In Tlaltizapán de Zapata, 84% of families are made up of more than 3 members and in Zacatepec, the most of the households are made up of 3 to 4 members (Figure 3).

Regarding marital status, most of those interviewed in both municipalities are married.

Overall, 82% maintain some type of family relationship (Figure 4).

It is notorious to see independent families, such as farmers' children who form their own; which indicates that in rural areas, more and more people want to live apart from their parents or siblings, rather than in extended families, but close to them. In this way makes it easier for children who have already left home to maintain certain practices as part of their rural identity and to generate support networks (Castro-Ríos, 2012).

Regarding the educational level of those interviewed in the municipality of Tlaltizapán de Zapata,

rales, donde las labores del campo suelen percibirse como pesadas, implican traslados, gestiones administrativas y otras responsabilidades que habitualmente asumen los hombres. Además, muchas de estas granjas se localizan en medio de zonas de cultivo, lo que refuerza dicha división de roles.

Los rangos de edad de los productores entrevistados en Tlaltizapán de Zapata muestran que la mayoría (54 %) tiene de 30 a 50 años; en Zacatepec, el 64 % se encuentra entre los 51 a 70 años. Estos datos indican que la generalidad tiene más de 30 años y se encuentran en edad productiva (Figura 2).

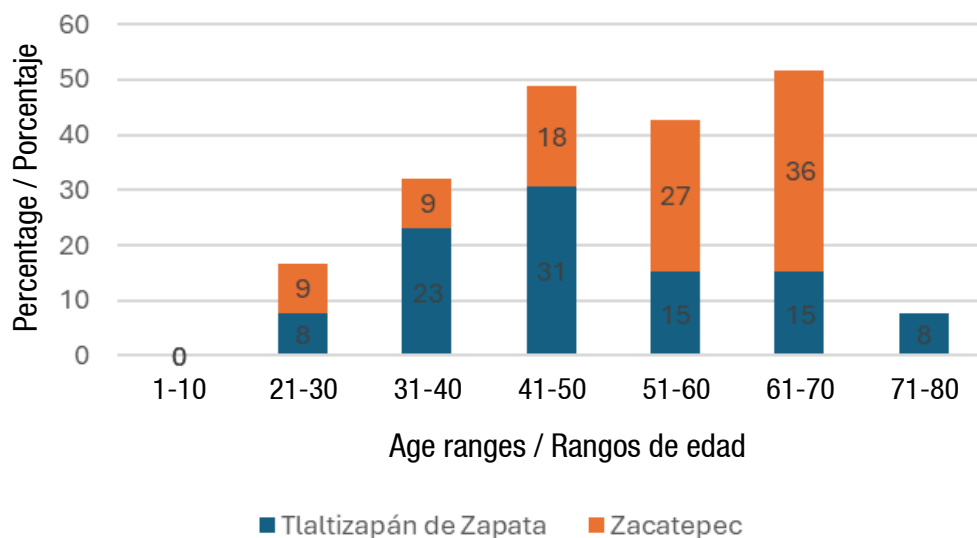
Las familias entrevistadas en los dos municipios son de tipo nuclear (91 %) principalmente, el resto son extensas.

En Tlaltizapán de Zapata el 84 % de las familias está compuesto por más de 3 integrantes y en Zacatepec la mayoría de los hogares se componen de 3 a 4 integrantes (Figura 3).

En cuanto al estado civil, la mayor parte de los entrevistados en los dos municipios están casados. En conjunto, el 82 % mantiene algún tipo de vínculo familiar (Figura 4).

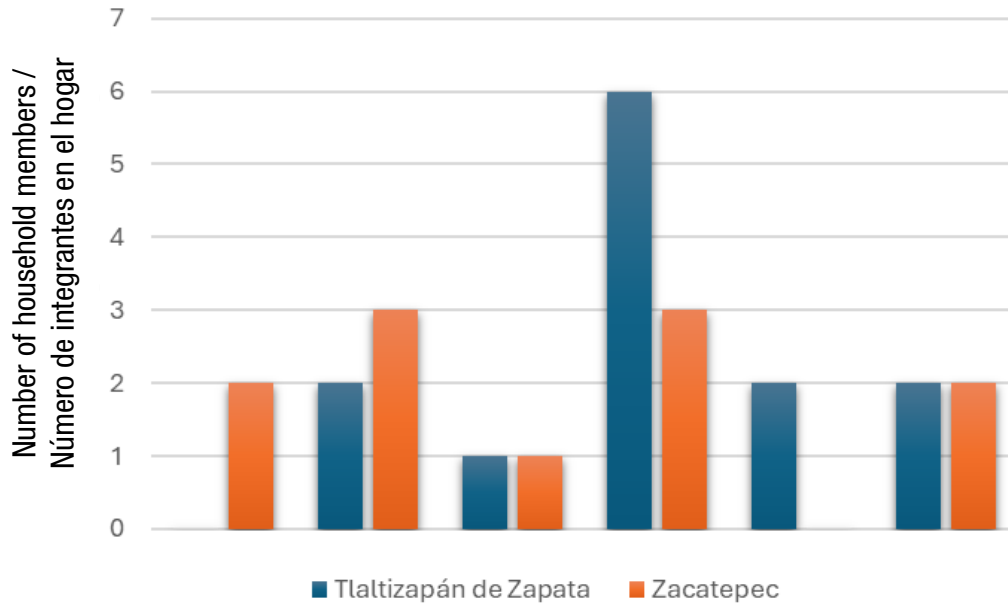
Es notorio ver familias independientes, como los hijos de los productores que forman una propia; lo que in-

Figure 2. Age of producers interviewed in Tlaltizapán de Zapata and Zacatepec.
Figura 2. Edad de los productores entrevistados en Tlaltizapán de Zapata y Zacatepec.



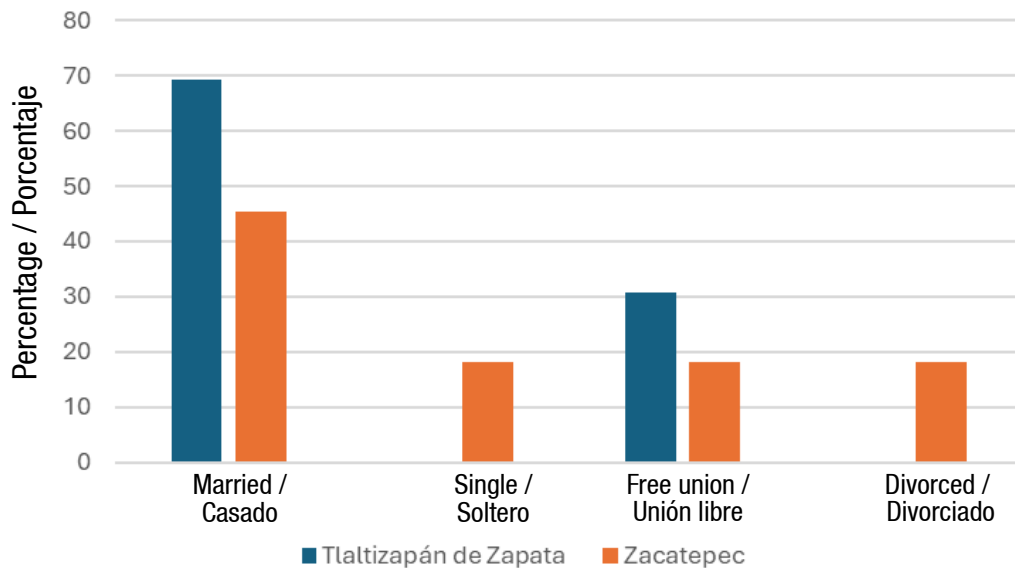
Source: Field data.
 Fuente: Datos de campo.

Figure 3. Number of members in the household of the interviewees from Tlaltizapán de Zapata and Zacatepec.
Figura 3. Número de integrantes en el hogar de los entrevistados de Tlaltizapán de Zapata y Zacatepec.



Source: Field data.
 Fuente: Datos de campo.

Figure 4. Marital status of those interviewed in Tlaltizapán de Zapata and Zacatepec.
Figura 4. Estado civil de los entrevistados en Tlaltizapán de Zapata y Zacatepec.



Source: Field data.
 Fuente: Datos de campo.

76% have basic education, while 8% have high school, another 8% have higher education and the remaining 8% have no schooling at all. In Zacatepec, 37% have basic education, 27% have high school, another 27% have higher education and 9% have no schooling. This lack of education is mainly observed among respondents over 70 years of age, who, in spite of this, have acquired their knowledge of ornamental aquaculture through practical experience.

This predominance of basic education among fish farmers is also observed at the national level (Ramírez-Martínez et al., 2010) and in other countries such as Sri Lanka (Weerasinghe & Malkanthi, 2022) and Peru, where it reaches 80% (Santana-Mori & Gómez-Bardales, 2018). Therefore, the majority are literate, understanding literacy as "a continuous process of learning and skills that allows for lifelong learning," which provides tools for problem solving (UNESCO, 2015, p. 7).

The communities in both municipalities have basic services such as electricity, drinking water, drainage or septic tanks, garbage collection, and even internet access. The well maintained roads facilitate access to farms, markets and inputs supply. Ponds are usually located near paved or dirt roads in good condition, within or immediate urban areas.

It was observed that the producers' homes are built with durable materials, such as block and concrete; some display a higher level of sophistication in their construction. This indicates a lifestyle with material conditions that adequately meet family needs. The presence of amenities, as well as the acquisition of cars and trucks, demonstrates a stable economy, which, according to several testimonies, is a result of the profits generated by ornamental fish farming.

It was observed that the farmers' houses are built with durable materials, such as block and concrete; some display a higher level of sophistication in their construction. This indicates a lifestyle with material conditions that allow them to adequately meet family needs. The presence of comforts, as well as the acquisition of cars and trucks, evidences a stable economy, which, according to several testimonies, is a result of the profits generated by ornamental fish farming.

dica que cada vez más en las áreas rurales las personas desean vivir separados de sus padres o hermanos, y no en familias extensas, pero sí cerca de ellos. De esta manera se facilita que los hijos que ya salieron del hogar mantengan ciertas prácticas como parte de su identidad rural y se generen redes de apoyo (Castro-Ríos, 2012).

En cuanto al nivel educativo de los entrevistados en el municipio de Tlaltizapán de Zapata, el 76 % cuenta con educación básica, mientras que un 8 % posee nivel medio superior, otro 8 % nivel superior y el restante 8 % no tiene ningún grado escolar. En Zacatepec, el 37 % cuenta con educación básica, el 27 % con nivel medio superior, otro 27 % con estudios superiores y el 9 % no tiene formación académica. Esta falta de escolaridad se observa principalmente en los entrevistados mayores de 70 años, quienes, a pesar de ello, han adquirido sus conocimientos en acuicultura ornamental a través de la experiencia práctica.

Este predominio de la educación básica entre los productores piscícolas también se observa a nivel nacional (Ramírez-Martínez et al., 2010) y en otros países como Sri Lanka (Weerasinghe & Malkanthi, 2022) y Perú, donde alcanza el 80 % (Santana-Mori & Gómez-Bardales, 2018). Por tanto, la mayoría, son alfabetos, entendiendo la alfabetización como "un proceso continuo de aprendizaje y aptitudes que permite incorporarse al aprendizaje durante toda la vida", el cual proporciona herramientas para la resolución de problemas (UNESCO, 2015, p. 7).

Las comunidades de ambos municipios disponen de servicios básicos como electricidad, agua potable, drenaje o fosa séptica, recolección de basura e incluso acceso a internet. Las adecuadas condiciones de las vías de comunicación facilitan el ingreso a las granjas, a los mercados y al suministro de insumos. Los estanques suelen estar ubicados cerca de caminos pavimentados o de terracería en buen estado, dentro o en las inmediaciones de zonas urbanas.

Se observó que las viviendas de los productores están construidas con materiales duraderos, como block y concreto; algunas muestran un nivel más alto de sofisticación en su edificación. Esto indica un estilo de vida con condiciones materiales que permiten cubrir adecuadamente las necesidades familiares. La presencia

Identification and general characteristics of fish production and marketing

Experience as fish farmers

Most of the interviewees have more than 11 years of experience in ornamental fish farming. In Tlaltizapán de Zapata, more than half (54%) have between 11 and 15 years of experience, 24% have been involved for more than 16 years, 15% have between 6 and 10 years, and only 7% have started recently, with less than 5 years. In Zacatepec, the majority (55%) have between 16 and 30 years of experience, followed by 36% with 6 to 15 years, and 9% with less than five years. This panorama shows a significant presence of new individuals interested in incorporating this practice into their family income sources.

This access is favored by the accessible nature of ornamental fish farming, which does not require specialized training. Ramírez-Martínez et al. (2010) point out that nearly 90% of those engaged in this activity do so without prior technical studies. In Tlaltizapán de Zapata, participants reported having learned primarily through self taught means (46%), followed by those who were trained with the support of other aquaculture farmers (31%), family members (15%), or a combination of both (8%). In Zacatepec, learning through the accompaniment of other producers predominates (55%), followed by family members (27%) and a combination of both sources or individual learning (9%). As Matus (2021) points out, knowledge in rural contexts is built through practice, social relationships and personal effort. It is worth mentioning that 62% of those interviewed in Tlaltizapán de Zapata and 82% in Zacatepec have received technical training in production-related topics.

Productive infrastructure

Regarding the type of ownership, in Tlaltizapán de Zapata, 92% of the land used for aquaculture production is ejido land and 8% is communal land. Of these, the majority (92%) belongs directly to the fish farmers, while the remaining 8% is rented or borrowed land. In Zacatepec, 46% of the production units are located on ejido land, 45% on private property and 9% are on public land. As for land tenure, 46% are owned, 27% are borrowed by relatives and the same percentage co-

de comodidades, así como la adquisición de automóviles y camionetas, evidencia una economía estable, que, según varios testimonios, es resultado de las utilidades generadas por la piscicultura ornamental.

Identificación y características generales de la producción y comercialización piscícola

Experiencia como piscicultores

La mayoría de entrevistados cuentan con más de 11 años de experiencia en la piscicultura ornamental. En Tlaltizapán de Zapata, más de la mitad (54 %) tiene entre 11 y 15 años dedicándose a esta labor, el 24 % supera los 16 años, el 15 % acumula entre 6 y 10 años, y solo el 7 % ha iniciado recientemente, con menos de 5 años. En Zacatepec la mayoría (55 %) tiene entre 16 y 30 años de trayectoria, seguido por un 36 % con 6 a 15 años y un 9 % con menos de cinco. Este panorama evidencia una presencia significativa de nuevos actores interesados en incorporar esta práctica a sus fuentes de ingreso familiar.

Este acceso se ve favorecido por la naturaleza accesible de la piscicultura ornamental, que no requiere formación especializada. Ramírez-Martínez et al. (2010) señalan que cerca del 90 % de quienes se dedican a esta actividad lo hacen sin estudios técnicos previos. En Tlaltizapán de Zapata, los participantes declararon haber aprendido principalmente de manera autodidacta (46 %), seguidos por quienes se formaron con apoyo de otros acuicultores (31 %), familiares (15 %) o mediante una combinación de ambos (8 %). En Zacatepec, predomina el aprendizaje mediante el acompañamiento de otros productores (55 %), seguido de familiares (27 %) y una combinación de ambas fuentes o aprendizaje individual (9 %). Como lo señala Matus (2021), el conocimiento en contextos rurales se construye mediante la práctica, las relaciones sociales y el esfuerzo personal. Cabe mencionar que el 62 % de los entrevistados en Tlaltizapán de Zapata y el 82 % en Zacatepec han recibido capacitación técnica en temas relacionados con la producción.

Infraestructura productiva

Con respecto al tipo de propiedad, en Tlaltizapán de Zapata el 92 % de los terrenos utilizados para la producción acuícola son ejidales y el 8 % comunales. De

responds to rented land. In general, producers operate in areas over which they have some degree of control or ownership, which provides greater stability for the development of the activity.

In terms of size, small-scale ponds predominate in both municipalities: in Tlaltizapán de Zapata, 77% have areas of less than 2,000 m², 15% are between 2,000 and 4,000 m², and the remaining 8% are between 4,000 and 6,000 m². In contrast, in Zacatepec all are smaller than 2,000 m². The use of small spaces for ornamental aquaculture is also a common feature in other Asian countries, such as Sri Lanka (Weerasinghe & Malkanthi, 2022) and Indonesia (Supriyadi et al., 2022).

In Tlaltizapán de Zapata, most structures are semi-rustic ponds with rubber (49%), followed by geomembrane (24%), concrete (20%), masonry (5%), and rustic (2%). In Zacatepec, the most common are concrete (42%), rustic with rubber (22%), geomembrane designs (17%), other rustic types (15%) and, to a lesser extent, specialized facilities such as warehouses (3%) and laboratories (1%) (Table 1). These constructions re-

estos, la mayoría (92 %) pertenece directamente a los piscicultores, mientras que el 8 % restante corresponde a predios rentados o prestados. En Zacatepec, el 46 % de las unidades productivas se localizan en terrenos ejidales, el 45 % en propiedad privada y el 9 % en terrenos públicos. En cuanto a la tenencia de la tierra, el 46 % son propias, el 27 % son prestadas por familiares y, el mismo porcentaje corresponde a terrenos arrendados. En general, los productores operan en espacios de los que tienen algún grado de control o posesión, lo que les brinda mayor estabilidad para el desarrollo de la actividad.

En relación a las dimensiones, en ambos municipios predominan los estanques de pequeña escala: en Tlaltizapán de Zapata el 77 % tiene superficies menores a 2000 m², el 15 % se encuentra entre 2000 y 4000 m² y el 8 % restante alcanza entre 4000 y 6000 m². En contraste, en Zacatepec todos son menores a 2000 m². El uso de espacios pequeños para la acuicultura ornamental también es una característica común en otros países asiáticos, como Sri Lanka (Weerasinghe & Malkanthi, 2022) e Indonesia (Supriyadi et al., 2022).

Table 1. Productive Infrastructure available to fish farmers.
Cuadro 1. Infraestructura productiva con la que cuentan los piscicultores.

Type of pond / Tipo de estanque	Tlaltizapán de Zapata		Zacatepec	
	Number / Número	Water surface (m ²) / Espejo de agua (m ²)	Number / Número	Water surface (m ²) / Espejo de agua (m ²)
Rustic ponds / Estanques rústicos	8	480	18	1050
Concrete ponds / Estanques de concreto	38	4164	96	2954
Geomembrane / Geomembrana	23	5106	44	1160
Laboratory / Laboratorio	0	0	3	36
Semi-rustic ponds with rubber / Estanques semirústicos con hule	55	10132	22	1568
Semi-rustic ponds with masonry / Estanques semirústicos con mampostería	5	970	0	0
Tanks / Tinas	0	0	46	190
Store / Bodega	1	12	7	63
Total	130	20846	236	7021

Source: Field data.

Fuente: Datos de campo.

spond to the requirements of the cultivated species and the degree of technification of each production unit. The choice of the type of construction depends both on the characteristics of the land and the economic resources available, as well as previous production experience.

One of the main advantages of ornamental fish production over consumer fish production is the size of the species, since the latter require larger spaces for their development. On the other hand, ornamental fish adapt easily to small areas and allow the use of local materials, even recyclable ones for pond construction, coinciding with Philippines producers in these practices (Plasus et al., 2022).

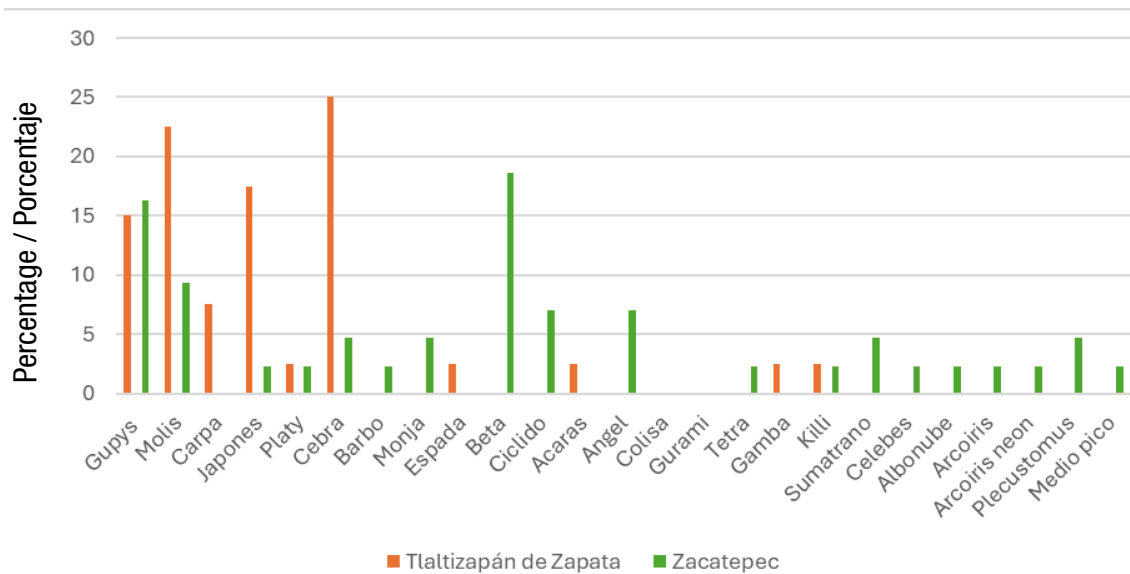
Species produced

In Tlaltizapán de Zapata, the majority (54%) of aquaculture units record a monthly production of less than 10,000 organisms, while 46% reach up to 20,000. In Zacatepec, 54% is in the range of 5 001 to 20 000 specimens, 37% does not exceed 5 000 and only 9% reaches between 20 001 and 25 000. These levels, on average less than 10 000 fish per month, are characteristic

En Tlaltizapán de Zapata, la mayoría de las estructuras son estanques semirrústicos con hule (49 %), seguidos por los de geomembrana (24 %), concreto (20 %), mampostería (5 %) y rústicos (2 %). En Zacatepec, destacan los diseños de concreto (42 %), los rústicos con hule (22 %), los de geomembrana (17 %), otros de tipo rústico (15 %) y en menor proporción, instalaciones especializadas como bodegas (3 %) y laboratorios (1 %) (Cuadro 1). Estas construcciones responden a los requerimientos de las especies cultivadas y al grado de tecnificación de cada unidad productiva. La elección del tipo de construcción depende tanto de las características del terreno como de los recursos económicos disponibles, así como de la experiencia previa en la producción.

Una de las principales ventajas de la producción de peces ornamentales frente a la de consumo es el tamaño de las especies, ya que estas últimas requieren espacios más amplios para su desarrollo. En cambio, los peces de ornato se adaptan con facilidad a superficies reducidas y permiten el uso de materiales del entorno, incluso reciclables para la construcción de estanques, coincidiendo con productores de Filipinas en estas prácticas (Plasus et al., 2022).

Figure 5. Percentage of ornamental fish species produced in Tlaltizapán de Zapata and Zacatepec.
Figura 5. Porcentaje de especies de peces de ornato que se producen en Tlaltizapán de Zapata y Zacatepec.



Source: Field data.
 Fuente: Datos de campo.

of extensive schemes, as documented in other research carried out in Mexico (Ramírez-Martínez et al., 2010) and in similar contexts such as Sri Lanka (Heenatigala, 2012).

Activity is maintained throughout the twelve months of the year, although it typically declines between november and january. Species diversity per farm varies: in Tlaltizapán, 62% grow between one and three varieties, 30% work with four to five and 8% grow up to eight different types. In Zacatepec, 55% grow one to three, 36% manage four to five and 9% grow up to nine species per unit (Figure 5).

Among the most cultivated species are poeciliids (such as guppy and molly), cyprinids (zebra, carp and Japanese) and anabantids (betta), which also form the basis of ornamental aquaculture in other exporting regions of the world (Weerasinghe & Malkanthi, 2022; Heenatigala, 2012; Monticini, 2010).

Based on the above data such as number of organisms, varieties, infrastructure, among others, productions are classified according to Ramírez-Martínez et al. (2010) and Martínez-Espinosa (2009) as extensive in the municipality of Tlaltizapán de Zapata and semi-intensive in Zacatepec, since they have been incorporating some technological innovations, such as laboratories, improving their efficiency and diversification of species.

Water availability

For fish farming, the main resource is water, as without it, good production cannot be achieved or costs would increase. Water for the ponds is rolled or pumped and must be recirculated or changed periodically in order to oxygenate them. Water quality varies depending on the source and the location of the community. The main source of water in Tlaltizapán de Zapata is the Cuautla river, which causes water shortages, especially during droughts, and represents a risk to the future of fish farming. In Zacatepec, however, the risk is lower, as the water supply comes from the canal that arrives from Las Estacas, the previously treated water supply comes from the Apatlaco river and from wells whose vital liquid is located at a depth of 10 meters. To ensure the supply of quality or quantity of water, some producers employ artisanal recirculation and filtration methods.

Especies que se producen

En Tlaltizapán de Zapata, la mayor parte (54 %) de las unidades acuícolas registra una producción mensual inferior a los 10000 organismos, mientras que el 46 % alcanza hasta 20000. En Zacatepec, el 54 % se sitúa en el rango de 5001 a 20000 ejemplares, el 37 % no supera los 5000 y únicamente el 9 % alcanza entre 20001 y 25000. Estos niveles, en promedio inferiores a los 10000 peces al mes, son característicos de esquemas extensivos, como se ha documentado en otras investigaciones realizadas en México (Ramírez-Martínez et al., 2010) y en contextos similares como Sri Lanka (Heenatigala, 2012).

La actividad se mantiene durante los doce meses del año, aunque suele disminuir entre noviembre y enero. La diversidad de especies por granja varía: en Tlaltizapán, el 62 % cultiva entre una y tres variedades, el 30 % trabaja con cuatro a cinco y el 8 % alcanza hasta ocho tipos distintos. En Zacatepec, el 55 % produce de una a tres, el 36 % maneja de cuatro a cinco y el 9 % llega a nueve especies por unidad (Figura 5).

Entre las especies más cultivadas destacan los poecílicos (como guppy y molly), ciprínidos (cebra, carpa y japonés) y anabántidos (betta), las cuales también forman la base de la acuicultura ornamental en otras regiones exportadoras del mundo (Weerasinghe & Malkanthi, 2022; Heenatigala, 2012; Monticini, 2010).

A partir de los datos anteriores como número de organismos, variedades, infraestructura entre otros, se clasifican las producciones según Ramírez-Martínez et al. (2010) y Martínez-Espinosa (2009) del municipio de Tlaltizapán de Zapata como de tipo extensivo y a Zacatepec semiintensivo, ya que han ido incorporando algunas innovaciones tecnológicas, como laboratorios, mejorando su eficiencia y diversificación de especies.

Disponibilidad de agua

Para la actividad piscícola el principal recurso es el agua, ya que sin este no se puede lograr una buena producción o en su caso incrementarían los costos. El agua para los estanques es rodada o bombeada y debe recircular o cambiar con periodicidad con el objetivo de oxigenarlos. La calidad del agua varía según la fuente y la ubicación de la comunidad. La principal fuente de acceso al agua en Tlaltizapán de Zapata es el río Cuautla, lo que provoca desabasto especialmente en época de sequía

Main problems in the fish farming production of the interviewed producers

As in all aquaculture activities, Morelos also faces various production challenges (Matus-Parada, 2020). Based on the interviews conducted in the municipalities studied, three main problems were identified. The most recurrent was the presence of the parasite *Lernaea cyprinacea* (Jiménez-Bahena et al., 2010) (38%), known as lerneá, whose infestation has represented a considerable risk by causing the total loss of crops (Maya-Peña et al., 2007). This highlights the importance of implementing effective sanitary measures for its prevention and control.

Secondly, marketing difficulties were mentioned (23%), attributed to the drop in sales in recent years, especially during the COVID-19 pandemic, as well as competition with producers in other states such as Sinaloa, Puebla and Michoacán.

The third problem identified was the lack of access to financing to improve farm infrastructure (19%), while the remaining 20% mentioned other difficulties. These situations occur more frequently among low-income producers, with extensive or small-scale systems, whose practices tend to be less profitable (Matus-Parada, 2020). However, during the interviews it was observed that aquaculture farmers with greater experience or initiative have managed to mitigate some of these challenges, allowing them to stay in the sector, expand their production and even certify their crops, which has given them a better market position.

Production costs

To estimate production costs, an individualized exercise was carried out with each interviewee with the objective of approximating, as accurately as possible, the expenses associated with the activity, since the management of aquaculture units tends to be predominantly empirical and intuitive (Matus-Parada, 2020).

In the municipality of Tlaltizapán de Zapata, 69% of farms reported monthly costs of less than \$5,000 Mexican pesos, while 31% reported expenses of up to \$10,000 Mexican pesos MXN. The main inputs that represent a greater proportion of the expense are: balanced feed, followed by the fuel needed for pumping water, as well as medicines, labor, packag-

y y representa un riesgo para el futuro de la piscicultura. Por su parte, en Zacatepec el riesgo es menor, puesto que el suministro de agua es del canal que llega de las Estacas, el agua del río Apatlaco previamente tratada y de pozos cuyo líquido vital se encuentra a 10 metros. Para asegurar el abasto de calidad o cantidad de agua, algunos productores emplean métodos de recirculación y filtración artesanales.

Principales problemáticas en la producción piscícola de los productores entrevistados

Como en toda actividad acuícola, en Morelos también se enfrentan diversos desafíos productivos (Matus-Parada, 2020). A partir de las entrevistas realizadas en los municipios estudiados, se identificaron tres problemáticas principales. La más recurrente fue la presencia del parásito *Lernaea cyprinacea* (Jiménez-Bahena et al., 2010) (38%), conocido como lerneá, cuya infestación ha representado un riesgo considerable al provocar la pérdida total de las cosechas (Maya-Peña et al., 2007). Esto resalta la importancia de aplicar medidas sanitarias eficaces para su prevención y control.

En segundo lugar, se mencionaron las dificultades en la comercialización (23%), atribuidas a la caída en las ventas durante los últimos años, especialmente en la pandemia por COVID-19, así como a la competencia con productores de otros estados como Sinaloa, Puebla y Michoacán.

La tercera problemática señalada fue la falta de acceso a financiamiento para mejorar la infraestructura de las granjas (19%), mientras que el 20% restante mencionó otras dificultades. Estas situaciones se presentan con más frecuencia por ser productores de bajos recursos, con sistemas extensivos o de pequeña escala, cuyas prácticas suelen ser menos rentables (Matus-Parada, 2020). No obstante, durante las entrevistas se observó que los acuicultores con mayor experiencia o iniciativa han logrado mitigar parte de estos desafíos, permitiéndoles mantenerse en el sector, ampliar su producción e incluso certificar sus cultivos, lo cual les ha dado una mejor posición en el mercado.

Los costos de producción

Para la estimación de los costos de producción se realizó un ejercicio individualizado con cada entrevistado

ing materials (bags and rubber bands), oxygen, aquatic lily and salt.

In Zacatepec, 46% of producers reported monthly costs below \$5,000 pesos MXN., 27% reported amounts up to \$15,000 pesos MXN., and the remaining 27% reached \$20,000 pesos MXN. In this case, the most significant item is labor, since some species, such as the *Betta splendens* fish, require specific care and daily attention. This is followed in importance by the expenses for fuel, bags, food, medications, facility rental, electricity consumption, water supply, oxygen and other supplies. It is important to note that the cost of food does not represent a high burden due to the predominance of small size species, while electricity costs tend to increase during the winter months, when certain varieties require controlled temperatures.

Marketing of ornamental fish

The ornamental fish market is demanding in terms of volume, diversity, and novelty; producers must be frequently innovating in this type of business and offer quality. In the state of Morelos, this need is accentuated due to the overproduction of some species, which directly impacts sales prices, making diversification even more important.

Marketing is done in 3 ways:

- Farm sales to local and regional intermediaries who distribute the fish to markets in Mexico City or other Mexican states. These intermediaries, in turn, supply aquariums or the final consumer. Among the main ones is a company called "La Perla de Morelos AC" (Ornamental Fish Producers).
- Direct sales to markets in Mexico City or other Mexican states, from where the fish are distributed to aquariums or to the final consumer.
- Direct sales to aquariums or the final consumer.

In the municipality of Tlaltizapán de Zapata, marketing is done mainly through intermediaries (75%), while in Zacatepec, half (50%) of fish farmers use this channel, and the rest opt for direct sales. Competition is considerable, as most fish farmers (62% in Tlaltizapán de Zapata and 55% in Zacatepec) grow up to three species. In the latter municipality, some manage between five and nine varieties, reflecting a greater level of diversification.

con el objetivo de aproximar, de la manera más precisa posible, los gastos asociados a la actividad, puesto que el manejo de las unidades acuícolas suele ser predominantemente empírico e intuitivo (Matus-Parada, 2020).

En el municipio de Tlaltizapán de Zapata, el 69 % de las granjas reportó costos mensuales inferiores a \$5,000 pesos mexicanos, mientras que el 31 % indicó gastos de hasta \$10,000 pesos M.N. Los principales insumos que representan una mayor proporción del gasto son: el alimento balanceado, seguido del combustible necesario para el bombeo de agua, así como medicamentos, mano de obra, materiales de empaque (bolsas y ligas), oxígeno, lirio acuático y sal.

En Zacatepec, el 46 % de los productores señaló costos mensuales inferiores a \$5,000 pesos M.N., el 27 % reportó montos de hasta \$15,000 pesos M.N., y el 27 % restante alcanzó los \$20,000 pesos M.N. En este caso, el rubro más significativo es la mano de obra, debido a que algunas especies, como el pez *Betta splendens*, requieren cuidados específicos y atención diaria. Le siguen en importancia el gasto en combustible, bolsas, alimento, fármacos, renta de instalaciones, consumo eléctrico, abastecimiento de agua, oxígeno y otros insumos. Es importante destacar que el costo del alimento no representa una carga elevada debido al predominio de especies de talla pequeña, mientras que el gasto en energía eléctrica tiende a incrementarse durante los meses invernales, cuando ciertas variedades requieren temperaturas controladas.

Comercialización de peces de ornato

El mercado de peces ornamentales es demandante en cuanto a volumen, diversidad y novedad, los productores deben estar frecuentemente innovando en este tipo de negocio y ofrecer calidad. En el estado de Morelos esta necesidad se acentúa debido a la sobreproducción de algunas especies lo que incide directamente en los precios de venta, haciendo aún más relevante la diversificación.

La comercialización se hace de 3 formas:

- Venta en las granjas a intermediarios locales y regionales que distribuyen los peces hacia mercados de la Ciudad de México o en otros estados de la República. Estos actores a su vez abastecen acuarios o al consumidor final. Entre los principales se encuentra la empresa llamada Productores de

The predominance of intermediaries is due to the fact that these agents have become key figures for small producers, who, despite receiving lower prices, go on depending on these commercial channels because of the personal or economic limitations to access alternative markets (Román-Montes de Oca et al., 2020). Intermediaries facilitate distribution by offering services that fish farmers cannot cover themselves, such as storage, transportation, and the use of specialized equipment. This model is practical for producers, as it transfers the risks associated with marketing, such as variations in demand, losses due to mortality, insecurity or accidents to intermediaries (Román-Montes de Oca et al., 2020).

The marketing of ornamental fish must be flexible to quickly recover the invested money, finance the next production cycle, and cover household expenses. This urgency leads to increased intermediation, especially when producers lack the information or experience to implement agile distribution strategies, or face barriers to direct access to certain markets. As Román-Montes de Oca et al. (2020) point out, the payments offered by intermediaries are often low, although the profits obtained have allowed fish farmers to meet their basic needs, cover production costs and even generate surpluses.

The price of fish depends on factors such as species, size, color, quantity per batch and health status (Ramírez-Martínez et al., 2010). Prices range from \$0.70 to more than \$300.00 Mexican pesos per unit for broodstock. The most common price range is between \$1.00 and \$1.50 pesos MXN per specimen, although previous studies report averages of \$2.63 pesos MXN. (Jiménez-Jiménez et al., 2017). In certain seasons, the oversupply of species such as poecilids and cyprinids which are predominant in Morelos (Martínez-Espinoza et al., 2013) reduces prices, especially in Tlaltizapán. In contrast, Zacatepec presents a greater variety of species, which strengthens its competitiveness.

Although intermediaries predominate in local marketing, initiatives have emerged to reduce its impact, highlighting digital commerce as an alternative. In addition, the packaging and sales process is accessible, allowing the participation of women and young people.

Diversifying species or introducing new varieties, as some producers are already doing, represents a viable strategy for improving profitability.

peces de ornato "La Perla de Morelos A.C."

- Venta directa a mercados de la Ciudad de México o en otros estados de la República, desde donde los peces son distribuidos a los acuarios o al consumidor final.
- Venta directa a acuarios o al consumidor final.

En el municipio de Tlaltizapán de Zapata la comercialización se hace principalmente a través de intermediarios (75 %), mientras que, en Zacatepec, la mitad (50 %) de los piscicultores utiliza este canal, y el resto opta por la venta directa. La competencia es considerable, ya que la mayoría de los piscicultores (62 % en Tlaltizapán de Zapata y 55 % en Zacatepec) cultiva hasta tres especies. En este último municipio, algunos manejan entre cinco y nueve variedades, lo que refleja un mayor nivel de diversificación.

El predominio del intermediarismo se debe a que estos agentes se han convertido en figuras clave para los pequeños productores, quienes, a pesar de recibir precios más bajos, continúan dependiendo de estos canales comerciales por limitaciones personales o económicas para acceder a mercados alternativos (Román-Montes de Oca et al., 2020). Los intermediarios facilitan la distribución al ofrecer servicios que los piscicultores no pueden cubrir por sí mismos, como almacenamiento, transporte y uso de equipos especializados. Este modelo es práctico para los productores, ya que transfiere los riesgos asociados a la comercialización, como variaciones en la demanda, pérdidas por mortalidad, inseguridad o accidentes hacia los intermediarios (Román-Montes de Oca et al., 2020).

La comercialización de los peces de ornato debe ser ágil para recuperar rápidamente el dinero invertido, solventar el siguiente ciclo de producción y cubrir gastos del hogar. Esta urgencia da lugar a mayor intermediación, especialmente cuando los productores carecen de información o experiencia para implementar estrategias ágiles de distribución, o se enfrentan a barreras para acceder directamente a ciertos mercados. Como señala Román-Montes de Oca et al. (2020), los pagos ofrecidos por los intermediarios suelen ser bajos, aunque las ganancias obtenidas han permitido a los piscicultores, solventar sus necesidades básicas, cubrir costos de producción e incluso generar excedentes.

El precio de los peces depende de factores como la especie, tamaño, color, cantidad por lote y estado

Job creation through fish farming

The farms are operated by family units, in Tlaltizapán In Zapata, 92% of farms involve members of the family nucleus from their origin (wives, children, and sons in law), while in Zacatepec this participation reaches 64%. Day laborers are also employed when necessary. The active involvement of young people between the ages of 18 and 25 was observed, who are being trained to continue the business, as well as to pass on the trade to children who already have their own families. This type of farming coincides with what has been reported in other contexts, where family fish farming represents a high percentage: 70% in Mexico (Ramírez-Martínez et al., 2010), 65% in Sri Lanka (Weerasinghe & Malkanthi, 2022) and Singapore (Monticini, 2010).

In Tlaltizapán de Zapata 13 direct jobs are generated and in Zacatepec 17 in total, combining day laborers and paid family members, in this case not considering family members who do not receive a salary, which are 25 people, benefiting more than 50 households in total. Day laborers earn between \$200 and \$300 pesos MXN. per day and perform tasks such as seining¹, counting, oxygenating, and bagging the fish. The family participates in feeding, transporting, selling and sometimes the whole process. Jobs are also created through resale.

As can be seen, one of the greatest strengths of fish farms is the integration of families into the workforce, which has given most of them economic stability and strengthened their emotional ties in a rural context with limited sources of employment fish farming has emerged as a viable alternative. This same family farm trend is characterizes other producing regions around the world, one of them being Sri Lanka where this industry thrives and provides employment and income opportunities for many families.

Various activities carried out by producers as part of their livelihood strategies

Current work activities

In Tlaltizapán de Zapata, 38% of producers indicated fish farming as their main occupation. Thirty one percent combine it with agricultural practices or other

sanitario (Ramírez-Martínez et al., 2010). Las tarifas oscilan entre \$0.70 y más de \$300.00 pesos mexicanos por unidad, en el caso de reproductores. El rango más habitual se ubica entre \$1.00 y \$1.50 pesos M.N. por ejemplar, aunque estudios previos reportan promedios de \$2.63 pesos M.N. (Jiménez-Jiménez et al., 2017). En ciertas temporadas, la sobreoferta de especies como poecílicos y ciprínidos que son predominantes en Morelos (Martínez-Espinosa et al., 2013) reduce los precios, sobre todo en Tlaltizapán. En cambio, Zacatepec presenta una mayor variedad de especies, lo que fortalece su competitividad.

Aunque el intermediarismo predomina en la comercialización local, han surgido iniciativas para reducir su impacto, destacando el comercio digital como alternativa. Además, el proceso de empaque y venta resulta accesible, lo que permite la participación de mujeres y jóvenes. Diversificar especies o introducir nuevas variantes, como ya lo hacen algunos productores, representa una estrategia viable para mejorar la rentabilidad.

Generación de empleos con la producción piscícola

Las granjas son operadas por unidades familiares, en Tlaltizapán de Zapata, el 92 % de las explotaciones involucra a miembros del núcleo familiar desde su origen (esposas, hijos y yernos), mientras que en Zacatepec esta participación alcanza el 64 %. También se recurre a jornaleros cuando es necesario. Se observó la incorporación activa de jóvenes de entre 18 y 25 años, quienes se están formando para dar continuidad al negocio, así como la transmisión del oficio a hijos ya con familia propia. Este tipo de explotaciones coincide con lo reportado en otros contextos, donde la piscicultura familiar representa un alto porcentaje: 70 % en México (Ramírez-Martínez et al., 2010), 65 % en Sri Lanka (Weerasinghe & Malkanthi, 2022) y Singapur (Monticini, 2010).

En Tlaltizapán de Zapata se generan 13 empleos directos y en Zacatepec 17 en total, combinando jornaleros y familiares con remuneración, en este caso no se consideran a los familiares que no perciben un salario, los cuales son 25 personas, beneficiando a más de 50 hogares en total. Los jornaleros ganan entre \$200 y \$300 pesos M.N. por jornada y realizan tareas como redear¹, contar, oxigenar y embolsar los peces. La fami-

¹Fishing with a seine net.

¹ Pescar con redes.

tasks, while 23% are dedicated exclusively to fish production, and 8% alternate it with different occupations. It should be noted that no resellers were identified in this municipality. Fish farming is also the activity to which they dedicate the most time (69%) and the one that provides the highest income (84%). In Zacatepec, the situation is similar: 73% consider fish farming to be their main activity, followed by combinations with agriculture, masonry or other trades, including reselling which is carried out simultaneously by 27%. Despite this diversification, 91% of the interviewed dedicate most of their working day to aquaculture and all agree that it represents their most important source of income (Figure 6).

In Tlaltizapán de Zapata, 62% of producers earn monthly incomes of up to \$10,000 pesos MXN. from the sale of fish, while 38% earn between that amount and \$20,000 pesos MXN. In Zacatepec, approximately 46% do not earn more than \$20,000 pesos MXN. per month, 36% earn up to \$40,000 pesos MXN. and 18% earn up to \$50,000 pesos MXN.

These data reflect that ornamental aquaculture represents the main source of income and occupies most of the working time for most of the interview-

lia participa en la alimentación, traslado, venta y en ocasiones en todo el proceso. También se generan empleos mediante la reventa.

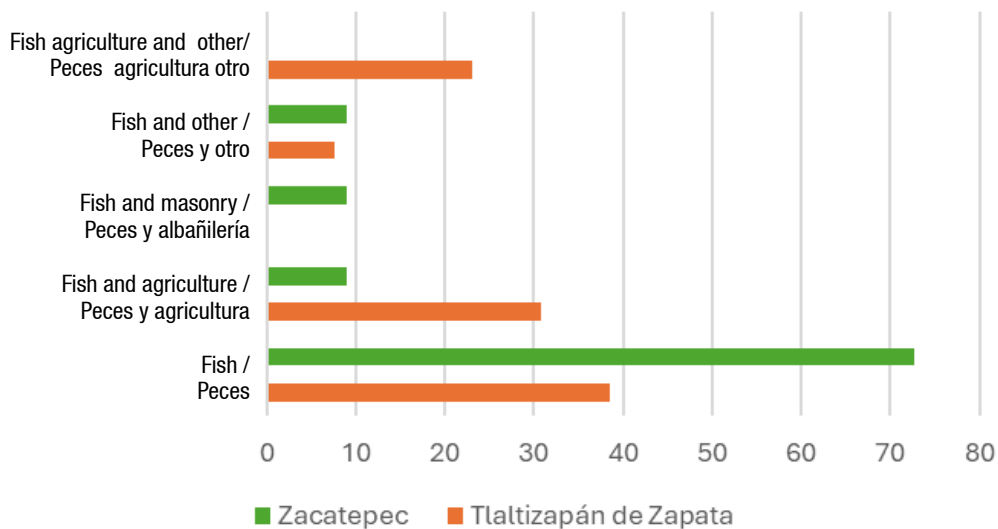
Como se observa, una de las mayores fortalezas de las granjas piscícolas es la integración familiar al trabajo, lo que ha dado a la mayoría estabilidad económica y fortalece sus lazos afectivos y en un contexto rural con limitadas fuentes de empleo la piscicultura se ha ubicado como una alternativa viable. Esta misma tendencia de granja familiar caracteriza a otras regiones productoras del mundo, una de ellas es Sri Lanka donde esta industria prospera y brinda oportunidades de empleo y ganancias a muchas familias.

Diversas actividades que llevan a cabo los productores como parte de las estrategias de vida

Actividades laborales actuales

En Tlaltizapán de Zapata, el 38 % de los productores señaló a la piscicultura como su ocupación principal. Un 31 % la combina con prácticas agrícolas u otras labores, mientras que el 23 % se dedica exclusivamente a la producción de peces, y un 8 % la alterna con distintos

Figure 6. Percentage of working activities performed by interviewed producers.
Figura 6. Porcentaje de las actividades laborales que realizan los productores entrevistados.



Source: Field data.
 Fuente: Datos de campo.

ees, since they obtain profits from this activity, since most of the producers have production costs of less than \$5,000 pesos MXN.

Its compatibility with other traditional activities, such as agriculture and livestock, has favored its integration in the communities, strengthening the link with productive practices inherent to local identity. This combination has also been documented in other contexts, such as Perú, where similar integration is observed (Santana-Mori & Gómez-Bardales, 2018).

In addition, some producers venture into raising fish for consumption. In Tlaltizapán de Zapata, 38% of the producers interviewed also produce edible species, while in Zacatepec, 18% do so. In both cases, fish consumption was identified among the producer families.

Another source of support for households is government subsidies. In Tlaltizapán de Zapata, 15% of those interviewed receive some type of assistance while in Zacatepec the proportion is higher, reaching 64%. In both municipalities, the main support comes from Conapesca. These resources are integrated into the family economy, either to cover household expenses or to cover part of production costs. Finally, although to a lesser extent, remittances also represent a complementary income in Tlaltizapán (15%), though only half of those who receive them use them to support their production unit. In Zacatepec, no migrant family members were reported.

Household spending and fish production

In Tlaltizapán de Zapata, 92% of families report monthly expenses that do not exceed \$10,000 pesos MXN. and 8% reach up to \$12,000 pesos MXN. In Zacatepec, 64% of households keep their expenses below \$10,000 pesos MXN., 27% do not exceed \$20,000 pesos MXN. and 9% reach \$22,000 pesos MXN. Regarding the income obtained from the sale of fish, it can be inferred that most producers manage to cover household expenses and have a small surplus. Furthermore, all those interviewed in both municipalities stated that they cover 100% of production costs with their own resources.

These results show that ornamental aquaculture has turned out to be a profitable activity and has been integrated into family life strategies. For most of them,

oficios. Cabe señalar que en este municipio no se identificaron revendedores. La cría de peces es también la labor a la que destinan mayor tiempo (69 %) y la que reporta mayores ingresos (84 %). En Zacatepec, la situación es similar: el 73 % considera la piscicultura como su actividad principal, seguida por combinaciones con agricultura, albañilería u otros oficios, incluida la reventa, que es ejercida simultáneamente por el 27 %. A pesar de esta diversificación, el 91 % de los entrevistados dedica la mayor parte de su jornada a la actividad acuícola y todos coinciden en que representa su fuente de ingreso más importante (Figura 6).

En Tlaltizapán de Zapata, el 62 % de los productores obtiene ingresos mensuales por la venta de peces de hasta \$10,000 pesos M.N., mientras que el 38 % percibe entre esa cifra y \$20,000 pesos M.N. En Zacatepec, aproximadamente el 46 % no supera los \$20,000 pesos M.N. mensuales, el 36 % alcanza los \$40,000 pesos M.N. y el 18 % llega hasta los \$50,000 pesos M.N.

Estos datos reflejan que la acuicultura ornamental representa la principal fuente de ingresos y ocupa la mayor parte del tiempo laboral para la mayoría de los entrevistados, ya que obtienen ganancias de esta actividad, puesto que la generalidad de los productores tiene costos de producción menores de \$5,000 pesos M.N.

Su compatibilidad con otras actividades tradicionales, como la agricultura y la ganadería, ha favorecido su integración en las comunidades, fortaleciendo el vínculo con prácticas productivas propias de la identidad local. Esta combinación también ha sido documentada en otros contextos, como en Perú, donde se observa una integración similar (Santana-Mori & Gómez-Bardales, 2018).

Además, algunos productores incursionan en la cría de peces para consumo. En Tlaltizapán de Zapata, el 38 % de los productores entrevistados también produce especies comestibles, mientras que en Zacatepec lo hace el 18 %. En ambos casos, se identificó un consumo habitual de pescado dentro de las familias productoras.

Otra fuente de apoyo para los hogares son los subsidios gubernamentales. En Tlaltizapán de Zapata, el 15 % de los entrevistados recibe algún tipo de ayuda y en Zacatepec la proporción es mayor, alcanzando el 64 %. En ambos municipios, el principal apoyo proviene de Conapesca. Estos recursos se integran a la eco-

it represents the economic base that supports not only a home, but in some cases several linked households. This stability has allowed them to access assets such as land, vehicles and infrastructure for production, as well as investment in education, additional enterprises, savings and recreation.

The producers' testimonies reflect this relevance. In Tlaltizapán de Zapata, expressions such as: "just to eat," "My son no longer went to the United States," "Having resources to invest in other things," "It's less heavy and allows me to do other things," "Living off this" were heard. While in Zacatepec they commented: "Supporting himself for a long time," "Having the things he has: a house, a car, land, children's schooling, vacations, a water well, a store," "Self-employment for himself and his children", "This is how we live".

These comments highlight the importance of fish production for families despite the daily challenges, acknowledging that this activity is part of their livelihood strategies, generating income and economic stability.

Conclusions

Ornamental fish farming is an activity that generates 30 direct jobs and benefits more than 50 households in the region, the producers value having their own family farm because of the status and prestige it brings. In addition to this activity, they combine other activities, such as agriculture, masonry and various other sources of income. Ornamental fish production is their main economic activity, providing them with stability and job opportunities in the region. Therefore, fish farming plays a crucial role in the producers' livelihood strategies, contributing significantly to their well being and quality of life.

Acknowledgments

We would like to thank the fish farmers in the municipalities of Tlaltizapán de Zapata and Zacatepec, Morelos, for their participation. We would also like to thank the Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) for funding the doctoral scholarship, the Universidad Autónoma del Estado de Morelos, especially the Facultad de Ciencias Agropecuarias for the support provided to carry out this

nomía familiar, ya sea para solventar gastos del hogar o cubrir parte de los costos de producción. Finalmente, aunque en menor medida, las remesas también representan un ingreso complementario en Tlaltizapán (15 %), aunque solo la mitad de quienes las reciben las destinan al sostenimiento de la unidad productiva. En Zacatepec no se reportaron familiares migrantes.

Gasto en el Hogar y la producción piscícola

En Tlaltizapán de Zapata, el 92 % de las familias reporta gastos mensuales que no superan los \$10,000 pesos M.N. y el 8 % alcanza hasta \$12,000 pesos M.N. En Zacatepec, el 64 % de los hogares mantiene sus egresos por debajo de los \$10,000 pesos M.N., el 27 % no sobrepasa los \$20,000 pesos M.N. y el 9 % llega a \$22,000 pesos M.N. Con relación a los ingresos obtenidos por la venta de peces, se puede inferir que la mayoría de los productores logra cubrir los gastos del hogar y disponer de un pequeño excedente. Además, todos los entrevistados en ambos municipios afirmaron cubrir el 100 % de los costos de producción con sus propios recursos.

Estos resultados muestran que la acuicultura ornamental ha resultado una actividad rentable y se ha integrado a las estrategias de vida familiar. Para la mayoría, representa la base económica que sostiene no solo una vivienda, sino en algunos casos a varias unidades domésticas vinculadas. Esta estabilidad les ha permitido acceder a bienes como terrenos, vehículos, infraestructura para la producción, así como invertir en educación, emprendimientos adicionales, ahorro o esparcimiento.

Los testimonios de los productores reflejan esta relevancia. En Tlaltizapán de Zapata se escucharon expresiones como: "para ir comiendo", "Mi hijo ya no se fue a los Estados Unidos", "Tener recursos para invertir en otras cosas", "Es menos pesado y permite hacer otras cosas", "Vivir de esto". Mientras que en Zacatepec comentaron: "mantenerse por mucho tiempo", "Tener las cosas que tiene: casa, carro, terreno, estudio de sus hijos, vacaciones, pozo de agua, bodega", "Autoempleo para él y para sus hijos", "De ahí vivimos".

Con esos comentarios se puede reconocer la importancia que tiene para las familias la producción piscícola a pesar de los desafíos cotidianos, recono-

work. We would also like to thank the referees who participated anonymously in this review and whose work enriched this research.

End of English version

References / Referencias

- Andrews, C. (1990). The ornamental fish trade and fish conservation. *Journal of Fish Biology*. 37(Supplement A), 53-59. https://www.researchgate.net/publication/229801010_The_ornamental_fish_trade_and_conservation
- Camargo-Sierra, A. (2020). Vivienda y estrategias familiares de vida en barrios populares consolidados en Bogotá. *Revista INVI*, 35(98), 101-125. <http://doi.org/10.4067/S0718-83582020000100101>
- Castro-Ríos, A. (2012). Familias rurales y sus procesos de transformación: estudio de casos en un escenario de ruralidad en tensión. *Psicoperspectivas. Individuo y Sociedad*, 11(1), 180-203. <https://dx.doi.org/10.5027/psicoperspectivas-vol11-issue1-fulltext-172>
- Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Morelos A.C. (CESAEM). (2020a). *Desarrollo de la Acuicultura en Morelos*. Morelos.
- Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Morelos A.C. (CESAEM). (2020b). *Informe estadístico actualización de datos 2020*. Morelos.
- Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería (EPSUA). (2002). Estudio de las carpas ornamentales: la "carpa dorada" (*Carassius auratus*) y la "carpa koi" (*Cyprinus carpio* spp. *koi*). *Sistemas de acuicultura marina*. Manual. 49 p. <https://www.academia.edu/8519995/Carassius>
- Esteban-Nieto, E. (2018). *Tipos de investigación*. Perú: Universidad Santo Domingo de Guzmán. <http://repositorio.usdg.edu.pe/handle/USDG/34>
- González-García, L. M., Sosa-Hernández, J. J., & Fierro-Martínez, S. D. (2018). Muestreo virtual online basado en redes sociales para localización de teletrabajadores como participantes de un estudio realizado en Victoria de Durango, México. *PAAKAT: Revista de tecnología y sociedad*, 8(15), 21-38. <https://doi.org/10.32870/pk.a8n15.333>
- Heenatigala, P. (2012). A study of the constraints affecting ornamental fish production in Sri Lanka. *Journal of the National Aquatic Resources Research and Development Agency*, 41, 87-101. <http://hdl.handle.net/1834/34512>

ciendo que esta actividad es parte de sus estrategias de vida, pues les genera ingresos y estabilidad económica.

Conclusiones

La piscicultura ornamental es una actividad que genera 30 empleos directos y beneficia a más de 50 hogares en la región, los productores valoran tener su propia granja familiar por el estatus y prestigio que conlleva. Además de esta actividad combinan otras, como la agricultura, la albañilería y diversas fuentes para obtener ingresos. La producción de peces ornamentales es su principal actividad económica, lo que les proporciona estabilidad y oportunidades de trabajo en la región. Por lo tanto, la piscicultura juega un papel crucial en las estrategias de vida de los productores, contribuyendo significativamente a su bienestar y calidad de vida.

Agradecimientos

Se agradece la participación de los productores piscícolas de los municipios de Tlaltzapán de Zapata y Zacatepec, Morelos. De igual manera, al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el financiamiento otorgado para la beca de doctorado, a la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, en especial a la Facultad de Ciencias Agropecuarias por el apoyo brindado para realizar este trabajo. Así como, a los árbitros que participaron de manera anónima en esta revisión y que con el trabajo realizado enriquecieron este trabajo.

Fin de la versión en español

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2007). *Censo agrícola, ganadero y forestal 2007*. <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/#Tabulados>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Morelos 2017*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825094713>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). *Monografías cuéntame información por entidad*. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mor/poblacion/default.aspx?tema=me&e=17>

- Jiménez-Bahena, O., Peña-Hernández, M., Ramírez-Martínez, C., Tapia-Osorio, M., Guzmán-Granados, L. E., Montes-Vara, R., Castrejón-Ramos, A. J., Álvarez-Jasso, M., & Benítez-Ocampo, A. (2010). *Guía para la identificación de parásitos y enfermedades de peces de ornato*. Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Morelos Instituto Nacional de Pesca Universidad Autónoma de Nuevo León. Zacatepec, Morelos, México. <https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/LIBROS/2010-Jimenez-Bahena-et-al.-Guia-enfermd-peces-ornato.pdf>. Consultado en noviembre de 2023.
- Jiménez-Jiménez, R. A., Ríos-Rivera, M., García-Gómez, F., & Lugo-García, A. (2017). Análisis económico de la acuicultura ornamental en el estado de Morelos, México. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 30(74) https://www.researchgate.net/publication/323445065_Analisis_economico_de_la_acuicultura_ornamental_en_el_estado_de_Morelos_Mexico. Consultado en junio de 2023.
- Ma, X., Bangxi, X., Yindong, W., & Mingxue, W. (2003). Intentionally Introduced and Transferred Fishes in China's Inland Waters. *Asian Fisheries Science*, 16(2003), 279-290. [chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.asianfisheriessociety.org/publication/downloadfile.php?id=607&file=Y0dSbUx6QTVPRFU0Tnpnd01ERXpOVFU1TURJeU5UY3VjR1Jt](https://www.asianfisheriessociety.org/publication/downloadfile.php?id=607&file=Y0dSbUx6QTVPRFU0Tnpnd01ERXpOVFU1TURJeU5UY3VjR1Jt)
- Martínez-Espinosa, D. (2009). *Informe final del plan maestro estatal de peces de ornato del estado de Morelos*. Universidad Autónoma Metropolitana, 1-510. https://cadenasproductivas.conapesca.gob.mx/pdf_documentos/comites/csp/Programa_Maestro_Estatal_Ornato_Morelos.pdf. Consultado en agosto de 2020.
- Martínez-Espinosa, D. A., Sánchez-Robles, J., Matus-Parada, J., & Binnquist-Cervantes, G. (2013). Análisis de los factores que condicionan la idoneidad de la estructura productiva de las granjas acuícolas de peces de ornato del estado de Morelos. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 13(25), 93-113. <https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/231>. Consultado en noviembre de 2022.
- Matus-Parada, J. (2020). Construcción de prácticas acuícolas sustentables mediante el conocimiento: cinco casos en la acuicultura morelense. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*, 20(40). <https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/423>
- Matus-Parada, J. (2021). Aprendizaje individual y colectivo en la acuicultura de pequeña escala en Morelos. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*, 21(41), <https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/354>.
- Maya-Peña, E. Marañón-Herrera, S., & Almeyda-Artigas, R. J. (2007). La lerneosis como un factor limitante del cultivo de peces de ornato en granjas de traspatio del estado de Morelos. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*, 7(14), 44-50. <https://biblat.unam.mx/es/revista/sociedades-rurales-produccion-y-medio-ambiente/articulo/la-lerneosis-como-un-factor-limitante-del-cultivo-de-peces-de-ornato-en-granjas-de-traspatio-del-estado-de-morelos>.
- Monticini, P. (2010). The ornamental fish trade. Production and commerce of ornamental fish: technical-managerial and legislative aspects. *Globefish Res. Programme*, 102, 17-30. <https://www.fao.org/fishery/en/publications/76531>
- Novák, J., Magalhães, A., Faulkes, Z., Yonvitner, Y., Maceda-Veiga, A., Dahanukar, N., Kawai, T., Kalous, L., & Patoka, J. (2022). Ornamental aquaculture significantly affected by the "Czech aquarium phenomenon". *Aquaculture*, 555(738259). <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738259>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2015). *Recomendación sobre el aprendizaje y la educación de adultos*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245179_spa
- Parappurathu, S., Baiju, K., & Pananghat, V. (2021). *Status and prospects of ornamental fish and fish feed industry in Southern India*. ICAR-CMFRI, Marine Fisheries Information Service Technical & Extension Series No. 248. http://eprints.cmfri.org.in/15228/1/MFIS_248_Shinoj%20Parapurath_2021.pdf
- Plasus L., Mecha N., & Plasus M. (2022). Baseline study on the freshwater ornamental fish industry in Palawan, Philippines. *The Palawan Scientist*, 14(1), 11-21. https://www.researchgate.net/publication/359648816_Baseline_study_on_the_freshwater_ornamental_fish_industry_in_Palawan_Philippines#fullTextFileContent
- Pountney, S. (2023). Survey indicates large proportion of fishkeeping hobbyists engaged in producing ornamental fish. *Aquaculture Reports*, 29(101503). <http://doi.org/10.1016/j.agrep.2023.101503>.
- Ramírez-Martínez, C., Mendoza-Alfaro, R., & Aguilera-González, C. (2010). *Estado actual y perspectivas de la producción y comercialización de peces de ornato en México*. Instituto Nacional de Pesca- Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey. 1-112. <https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/LIBROS/2010-Ramirez-Estado-peces-de-ornato.pdf>

- Ramos-Galarza, C. (2020). Los alcances de una investigación. *CienciaAmérica*, 9(3), 1-6. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7746475>
- Román-Montes de Oca, E. (2016). *La milpa amatleca como estrategia de vida*. México: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/78>
- Román-Montes de Oca, E., Licea-Resendiz, J. E., & Romero-Torres, F. (2020). Diversificación de ingresos de los productores como estrategias de desarrollo rural. *Entramado*, 16, 126-148. <http://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.6752>
- Santana-Mori, F., & Gómez-Bardales, P. (2018). *Estudio Socioeconómico de los Pescadores de Peces Ornamentales en la Cuenca Media y Baja del Río Nanay, Durante la Época de Creciente, 2016*. Perú, Universidad Científica del Perú. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/624>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2021). *Produce México más de 20 millones de peces de ornato al año en 250 unidades acuícolas*. <https://www.gob.mx/conapesca/articulos/produce-mexico-mas-de-20-millones-de-peces-de-ornato-al-ano-en-250-unidades-acuicolas-263154?idiom=es#:~:text=En%20el%20pa%C3%ADs%20se%20producen,de%20Agricultura%20y%20Desarrollo%20Rural>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2022). *Peces de ornato, más que belleza acuícola*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/peces-de-ornato-mas-que-belleza-acuicola>
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). (2019). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/prensa/sistema-de-informacion-agroalimentaria-de-consulta-siacon?idiom=es>
- Supriyadi, S., Sari, M., Abdillah, K., & Asshovani, C. (2022). Analysis of Production Risks and Factors Affecting the Risk of Ornamental Fish Farming Business in Plosoklaten District, Kediri Regency. *Economic and Social of Fisheries and Marine Journal*, 2(9). <https://doi.org/10.21776/ub.ecsofim.2022.009.02.06>
- Villarreal-Puga, J., & Cid-García, M. (2022). La aplicación de entrevistas semiestructuradas en distintas modalidades durante el contexto de la pandemia. *Revista Hallazgos*, 7(1), pp. 52-60. Recuperado el 15 de junio de 2024, de <https://revistas.pucese.edu.ec/hallazgos21/article/view/556/507>
- Weerasinghe, R., & Malkanthi, P. (2022). Impact of COVID-19 on the productivity of ornamental fish farmers: A case of ornamental fish farms in Colombo district in Sri Lanka. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 6 (4), pp. 545-556. Recuperado el 15 de junio de 2023, de <http://doi.org/10.31015/jaefs.2022.4>.
- Yadav, B. & Sharma, A. (2022). Gender analysis of ornamental fish production units in Maharashtra, India. *Frontiers In Marine Science*. 9:907069. <http://doi.org/10.3389/fmars.2022.907069>



Edible flowers during the Lenten Season at the Tulancingo market, Hidalgo, Mexico

Francisco Basurto Peña*
Myrna Mendoza Cruz

Abstract

Edible flowers have long been integral to traditional diets in Indigenous and rural communities in Mexico. Growing interest in these foods reflects an increasing recognition of biocultural diversity as a crucial element of sustainable food systems. This study reports on an ethnobotanical survey of flowers consumed during the Lenten season in Tulancingo, Hidalgo, Mexico. Fieldwork was conducted at the weekly Tulancingo market during January to April of 2022 and 2023. Vernacular names, geographic origins, procurement methods, and culinary applications were documented through open-ended and semi-structured interviews. Voucher specimens were purchased for botanical identification, and production and collection sites were visited to confirm sources. Based on this approach, 17 species were recorded as being sold during Lent, originating from four geocultural regions of Hidalgo and Puebla interconnected through local–regional production and consumption networks. Their use reflects the persistence of regional knowledge systems centered on biocultural diversity. Although research on edible flowers has advanced, species inventories and assessments of nutritional and nutraceutical properties remain incomplete. Strengthening the role of biocultural diversity in local diets offers a promising pathway for enhancing food security and community well-being.

Keywords: Traditional foods, markets and *tianguis*, edible plants, seasonal foods, nutraceuticals, biocultural heritage.

Flores comestibles en temporada de cuaresma en el mercado de Tulancingo, Hidalgo, México

Resumen

Las flores comestibles están presentes en la dieta de muchas comunidades indígenas y rurales de México. Actualmente se manifiesta un creciente interés por este tipo de alimentos, reconociendo la importancia de la diversidad biocultural en los sistemas alimentarios. El objetivo del trabajo fue la exploración etnobotánica de las flores utilizadas como alimento durante la temporada de cuaresma en Tulancingo, Hidalgo, México. El trabajo se realizó en el mercado semanal de Tulancingo de enero a abril de 2022 y 2023. Utilizando entrevistas abiertas y semiestructuradas, se registró el nombre de las flores, su procedencia, formas de obtención y de preparación. Se compraron muestras de las especies para su determinación botánica y se acudió a las zonas de producción o recolecta. Se obtuvo información de 17 especies que son ofertadas en la época de cuaresma, mismas que provienen de cuatro regiones geo culturales de Hidalgo y Puebla, articuladas en procesos de producción y consumo. Su aprovechamiento refleja el conocimiento regional de la biodiversidad cultural. Aunque hay avances en su estudio, falta por conocer del inventario y aporte nutricional y nutraceutico de las flores comestibles. La diversidad biocultural tiene mucho que aportar al logro de la seguridad alimentaria y bienestar de la población.

Palabras clave: Alimentos tradicionales, mercados y *tianguis*, plantas comestibles, alimentos de temporada, nutraceuticos, patrimonio biocultural.

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, Jardín Botánico, Circuito exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C. P. 04510, Ciudad de México, México

*Corresponding author: abasurto@ib.unam.mx Tel: 5556228983, ORCID ID: 0000-0001-6020-0854

Introduction

Mexico, a recognized megadiverse country, harbors approximately 12 % of global biodiversity within only 1.4 % of the world's terrestrial surface (Llorente and Ocegueda 2008; SEMARNAT 2014). It exhibits a high degree of endemism, with at least 52 % of its plant species found nowhere else (Rzedowski 1991). The country is also one of the four to eight primary centers of agricultural origin (Harlan 1975; Vavilov 1992) and among the most culturally diverse nations, being the birthplace of one of the world's six original civilizations (León-Portilla 2006).

These conditions—biological megadiversity, cultural plurality, and a role as a center of domestication—have fostered an extensive biocultural heritage. With more than 23,000 plant species (Villaseñor 2016), Mexico possesses a vast corpus of traditional ecological knowledge regarding plant use and management. Approximately one quarter of these species are of direct use to humans, and over 2,000 have been recorded as edible (Mapes and Basurto 2016).

In floristic inventories, edible plants rank second only to medicinal species (Martínez et al. 1995; Arrazola et al. 2018; Martínez et al. 2021; Bravo et al. 2022; Montes et al. 2022; Sandoval et al. 2023). Wild, semi-cultivated, and incipiently domesticated species remain crucial dietary resources in rural communities (Vázquez 1987; Villaseñor 1988; Villa 1991; Bastida et al. 2024; Lozano et al. 2022; Mendoza and Barón 2022). Scholarly interest in these resources has grown in recent decades, reflecting a broader recognition of cultural biodiversity as a pillar of sustainable food systems (Argumedo et al. 2021; Montes et al. 2022). Studies have examined specific plant groups—such as *quelites* (*wild greens*) (Basurto et al. 1998; Molina 2000; Castro 2000; Basurto 2011; Balcázar et al. 2020; Manzanero et al. 2020; Pulido et al. 2024)—as well as the nutritional, nutraceutical, and bioactive potential of edible flowers, alongside their enduring cultural and culinary roles (Rop et al. 2012; Lara et al. 2013; Fernandes et al. 2017, 2018; Mulík and Ozuna 2020; Jadhav et al. 2023).

Although flowers from native species are generally considered non-conventional foods and are not dietary staples, they form part of Mexico's biocultural heritage and contribute to both local food systems and food security (CONABIO 2020). Despite

Introducción

México como país megadiverso resguardan en un territorio equivalente al 1.4 % de la superficie terrestre del planeta alrededor del 12 % de la biodiversidad mundial (Llorente & Ocegueda, 2008; SEMARNAT, 2014). Tiene además un elevado porcentaje de endemismos, que en el caso de las plantas alcanza al menos el 52 % de las especies (Rzedowski, 1991). México es también uno de los cuatro u ocho centros de origen de la agricultura (Harlan, 1975; Vavilov, 1992). Considerado uno de los países con mayor diversidad cultural, es cuna de una de las seis civilizaciones originarias del mundo (León-Portilla, 2006).

Estas condiciones de país megadiverso, multicultural y centro de origen de la agricultura resultan en un extenso patrimonio biocultural, que con un inventario de más de 23 000 especies de plantas (Villaseñor, 2016) conforma un rico acervo de conocimientos de uso y manejo de las plantas. Hasta un cuarto de estas especies son útiles para las sociedades humanas que se han desarrollado en el país, y de estas, más de 2 000 especies tiene registro como plantas comestibles (Mapes & Basurto, 2016).

En los inventarios sobre flora útil, a las especies comestibles les corresponde un segundo lugar después del uso medicinal (Martínez et al., 1995; Arrazola et al., 2018; Martínez et al., 2021; Bravo et al., 2022; Montes et al., 2022; Sandoval et al., 2023). Las plantas comestibles silvestres, semicultivadas o de cultivo incipiente son un recurso muy importante en la dieta de la población en comunidades rurales (Vázquez, 1987; Villaseñor, 1988; Villa, 1991; Bastida et al., 2024; Lozano et al., 2022; Mendoza & Barón, 2022). En los últimos años ha tomado importancia el estudio de este tipo de recursos reconociendo el papel de esta biodiversidad cultural en la provisión de alimentos para la humanidad (Argumedo et al., 2021; Montes et al., 2022), y se ha puesto énfasis en estudios de caso sobre grupos de plantas como los *quelites* (Basurto et al., 1998; Molina, 2000; Castro, 2000; Basurto, 2011; Balcázar et al., 2020; Manzanero et al., 2020; Pulido et al., 2024), así como sobre el potencial alimentario, nutracéutico y de compuestos bioactivos de las flores, además de su ancestral importancia cultural y gastronómica (Rop et al., 2012; Lara et al., 2013; Fernandes et al., 2017; Fernandes et al., 2018; Mulík & Ozuna, 2020; Jadhav et al., 2023).

their importance in dietary studies, knowledge of their nutritional, gastronomic, cultural, and economic significance remains limited (Good and Corona 2011). Current inventories are incomplete, and little is known about their seasonal availability, preparation methods, management practices, or nutraceutical potential (Sotelo et al. 2007; Morales et al. 2015; Figueredo et al. 2022).

Dietary patterns in rural communities are closely tied to the seasonal availability of local plant, animal, and fungal resources, as well as to religious and social festivities (Nunes 2007; CONABIO 2020). Within the Catholic calendar—imposed during the colonial period—Lent has played a significant role in shaping dietary customs (Placencia 2023). While fasting is no longer obligatory, it remains customary to abstain from red meat, favoring plant-based foods such as *quelites*, roots, seeds, fruits, and flowers (Araujo 2025; Hernández 2025).

In preparation for Holy Week and throughout Lent, markets and *tianguis* (traditional open-air markets) serve as primary spaces for obtaining these foods. Markets provide critical information on the use, management, provenance, seasonality, and commercialization of plant and animal products (Hernández X. et al. 1983; Martínez et al. 2006). The weekly *tianguis* in Tulancingo, Hidalgo—where the present study was conducted—brings together foragers, producers, and intermediaries offering edible flowers from multiple regions of Hidalgo and Puebla. Held every Thursday in the streets surrounding the municipal market in downtown Tulancingo (Jaimes 2023), it remains a focal point for the exchange of biological resources and associated knowledge.

Markets are spaces of exchange where ecological, cultural, botanical, and, to some extent, socioeconomic factors intersect (Hernández X. et al., 1983). They play a crucial role in the economic and social life of communities and are privileged settings for gathering ethnobotanical information (Martínez et al., 2006).

The Tulancingo *tianguis* has pre-Columbian origins, documented as one of the most important trade centers in the Central Highlands during the Late Postclassic period, as evidenced by the archaeological site of Huapalcalco (Gaxiola 2009). During the Toltec era, it was among the principal periodic

Las flores comestibles de especies nativas, si bien pueden considerarse como alimentos no convencionales no constituyen un alimento básico, igualmente son parte del acervo biocultural y contribuyen al sistema alimentario mexicano, lo mismo que a la seguridad alimentaria (CONABIO, 2020), sin embargo, a pesar de su relevancia al abordar estudios sobre la comida y alimentación, aspectos de la importancia nutricional, bromatológica, gastronómica, cultural o económica (Good & Corona, 2011) de este tipo de alimentos no son del todo conocidos. Aunque hay avances, su inventario es aun incompleto, como lo es también el conocimiento de la temporada en que son utilizadas, de las formas de preparación, de cómo son manejadas, de su importancia y valores nutricionales y de su potencial nutraceutico. (Sotelo et al., 2007; Morales et al., 2015; Figueredo et al., 2022).

La alimentación y la dieta de las poblaciones rurales están relacionadas principalmente con el acceso a los recursos vegetales, animales y fúngicos de su entorno natural, así como con acontecimientos relacionados al calendario y celebraciones de tipo religioso y social (Nunes, 2007; CONABIO, 2020). Dentro del sistema de prácticas y creencias de tipo religioso en México, se encuentra la Cuaresma como parte de la práctica de la religión católica impuesta luego de la invasión española. (Placencia, 2023). Si bien en la actualidad no es obligatorio el ayuno para la feligresía católica, la tradición y costumbre para esta época del año es evitar consumir carnes rojas y se da preferencia al consumo de alimentos de origen vegetal como *quelites*, raíces, semillas, frutos y flores (Araujo, 2025; Hernández, 2025).

Para el abasto en los días de vigilia previos a la Semana Santa y durante está, la población acude a los mercados y *tianguis* para abastecerse de estos productos. Los mercados representan una fuente muy importante de información acerca del uso, manejo, procedencia, estacionalidad y comercialización de productos tanto de origen animal como vegetal (Hernández X. et al., 1983; Martínez et al., 2006). En el mercado semanal o *tianguis* de la ciudad de Tulancingo, en el Estado de Hidalgo, México, sitio donde se realizó este trabajo, se concentran recolectores, productores e intermediarios que comercializan gran variedad de productos vegetales, entre los cuales se encuentran flores comestibles provenientes de diversas zonas de los estados de Hidalgo y Puebla. Este mercado se ins-

markets in central Mexico, held every 20 days and attracting merchants from multiple provinces (Gaxiola 2009).

Tulancingo was also a key node along trade routes linking the Gulf Coast with the Central Highlands during the Epiclassic period, connecting independently developed regions with El Tajín as a major hub (Gaxiola 2009). The pre-Hispanic route from Mexico City to Tuxpan passed through the Tulancingo Valley, Huauchinango, and near El Tajín, linking Tulancingo with Pánuco. Additional routes converged here from Metztitlán and Huayacocotla to the north and from Tlaxcala and Puebla to the south. Obsidian was among the principal goods traded (Gaxiola 2009). The city thus served as a major center for the exchange and distribution of goods between the Valley of Mexico, the Sierra Norte of Puebla, and the Huasteca region, including coastal areas such as Pánuco and Tampico (Navarrete 2022).

By the late 18th century, Tulancingo remained a significant commercial hub, with influence extending to mining centers such as Pachuca and Real del Monte (Navarrete 2022). Indigenous traders played a central role, supplying as many as 72 different products to the market, with seeds and vegetables among the most prominent (Navarrete 2022).

Today, the Tulancingo *tianguis* continues to serve as a regional distribution center for food products, linking diverse ecological and cultural zones and facilitating the exchange of knowledge on edible plants and their uses—an important factor in maintaining food security.

The consumption of flowers as food in Mexico is documented since at least the 16th century (Sahagún 1979). More than 160 species are now recognized as edible, with the families Asparagaceae, Leguminosae, and Cactaceae exhibiting the highest diversity (Basurto 1997).

Nevertheless, studies on the proximate composition and bioactive compounds of edible flowers in Mexico remain limited, focusing primarily on a small number of genera, including *Agave*, *Erythrina*, *Mariosousa*, *Cucurbita*, *Yucca*, *Chamaedorea*, *Acanthocereus*, *Quararibea*, and *Myrtillocactus* (Ávila et al. 1993; Bourges et al. 1996; Hersch et al. 1999; Sotelo et al. 2007; Centurión et al. 2009; Morales et al. 2015).

tala los jueves de cada semana, en calles aledañas al Mercado Municipal, en la zona centro de Tulancingo (Jaimes, 2023).

Los mercados son lugares de intercambio en donde ocurren fenómenos resultantes del medio ecológico, de la cultura, de las características de las plantas silvestres, semidomesticadas o domesticadas, y en forma parcial, del medio socioeconómico (Hernández X. et al., 1983). Son sitios de gran importancia en la vida económica y social de las comunidades, además de lugares privilegiados para la obtención de información etnobotánica (Martínez et al., 2006).

El tianguis o plaza de Tulancingo tiene antecedentes precolombinos como uno de los centros de intercambio más importantes del Altiplano central durante el postclásico tardío tal como se muestra en la arqueología de Huapalcalco (Gaxiola, 2009). El tianguis de Tulancingo era uno de los cinco o seis mercados periódicos más importantes de la época tolteca en el centro de México. Se celebraba cada 20 días y a él acudían mercaderes de distintas provincias (Gaxiola, 2009).

Asimismo, Tulancingo se encuentra en las rutas de intercambio comercial establecidas entre la Costa del Golfo de México y el Altiplano durante el epiclásico, articulando varias zonas con desarrollos independientes, con el Tajín como centro rector (Gaxiola, 2009). De las rutas comerciales precolombinas, la de México a Tuxpan pasa por el Valle de Tulancingo, por Huauchinango y cerca del Tajín, relacionando a Tulancingo con Pánuco. Otras rutas prehispánicas convergían también en Tulancingo: la de Metztitlán y la de Huayacocotla hacia el norte y más al sur se conectaba con una red que llegaba a Tlaxcala y Puebla y por las que circulaba como una de las principales mercancías la obsidiana (Gaxiola, 2009). Tulancingo tuvo un papel muy importante como centro de intercambio y distribución de mercancías entre el Valle de México, la Sierra Norte de Puebla y la Huasteca, incluyendo la zona costera de Panuco y Tampico (Navarrete, 2022).

Para fines del siglo XVIII Tulancingo seguía siendo un centro de intercambio comercial relevante, que incluía en su zona de influencia los reales de minas de Pachuca y Real del Monte (Navarrete, 2022). La población indígena tenía un papel importante en

Globally, edible flowers are increasingly valued as sources of bioactive compounds, nutraceuticals, and essential minerals. Documented compounds include flavonoids, phenolic acids, and anthocyanins, which exhibit antioxidant, anti-inflammatory, hypoglycemic, anticancer, cardioprotective, and hepatoprotective activities (Lara et al. 2013; Guiné et al. 2020; Janarny et al. 2021; Dos Santos and Novaes 2021; Pires et al. 2021; Panyayong and Srikaeo 2022; Jiménez et al. 2023; Pensamiento et al. 2023; Ribeiro and Vidal 2023; Marcos et al. 2024).

In the Tulancingo *tianguis*, edible flowers consumed during Lent are culturally preferred foods that reinforce local identity while contributing to food security (Cruz and Pérez 2017). However, most collectors and vendors are over 40–45 years old, and younger generations are minimally involved in their harvesting or sale. This generational gap poses a threat to the transmission of knowledge and the preservation of associated biocultural diversity across the interconnected geocultural regions of Hidalgo and Puebla. Modernization and changing dietary patterns also contribute to the substitution and potential abandonment of these traditional foods (Montes et al. 2022).

The present study documents the edible flowers sold during Lent at the *tianguis* in Tulancingo, Hidalgo, Mexico, detailing their origin, procurement and management practices, and culinary uses.

Methodology

Study Area

Tulancingo is one of 84 municipalities in the state of Hidalgo, located in the eastern portion of the state between 20°03′–20°13′ N and 98°14′–98°31′ W (Figure 1), at elevations ranging from 2,100 to 2,300 m a.s.l. The municipality lies within the physiographic province of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Pánuco River Hydrological Region, in the Moctezuma River Basin (Sánchez and Bravo 2017).

The Tulancingo *tianguis* has historically drawn products from a wide area encompassing the Barranca de Metztitlán, the Tulancingo Valley, and the Sierra de Tenango (Otomí–Tepehua Region) in Hidalgo, as well as from the Sierra Norte of Puebla (Báez 2012). In the Bar-

este comercio, llevando al mercado hasta 72 productos distintos, con semillas y vegetales como uno de los rubros más importantes (Navarrete, 2022).

Este papel del tianguis de Tulancingo como centro de distribución de alimentos desde y hacia distintas regiones ambientales y culturales se mantiene en la actualidad, permitiendo la difusión y dispersión de conocimientos sobre plantas comestibles y sus formas de uso, lo cual se considera condición favorable para el logro o mantenimiento de factores clave para el bienestar de la población como es la seguridad alimentaria.

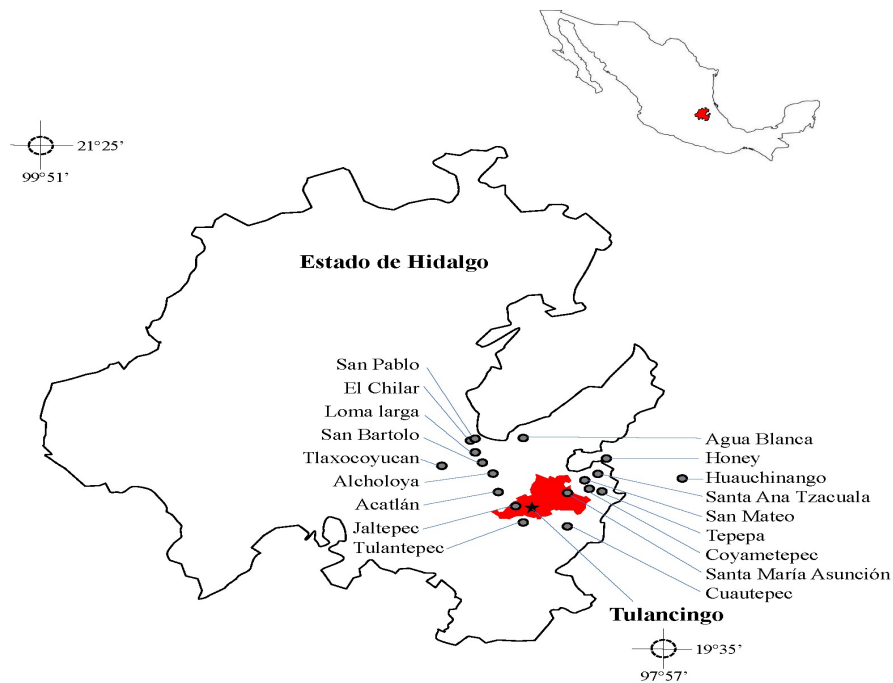
Aunque el uso de flores como alimento ha sido un tanto soslayado, para México se tiene registro escrito de su consumo desde el siglo XVI (Sahagún, 1979) y en la actualidad más de 160 especies de flores son usadas como alimento. Las familias con mayor número de especies con flores comestibles en México son Asparagaceae, Leguminosae y Cactaceae (Basurto, 1997).

Para México, a pesar del elevado número de especies con flores comestibles, la información sobre la química proximal y de compuestos bioactivos se reduce a pocas especies de los géneros *Agave*, *Erythrina*, *Mariosousa*, *Cucurbita*, *Yucca*, *Chamaedorea*, *Acanthocereus*, *Quararibea* y *Myrtilocactus* (Avila et al., 1993; Bourges et al., 1996; Hersch et al., 1999; Sotelo et al., 2007; Centurión et al., 2009; Morales et al., 2015).

El potencial de las flores como alimento con compuestos bioactivos, como nutraceuticos o como fuente de minerales y otros nutrimentos en la actualidad es de interés mundial. Entre los compuestos que han sido reportados se encuentran flavonoides, ácidos fenólicos y antocianinas, que tienen efectos como antioxidantes, antiinflamatorios, hipoglucemiantes, anticáncer, cardioprotectores y hepatoprotectores (Lara et al., 2013; Guiné et al., 2020; Janarny et al., 2021; Dos Santos & Novaes, 2021; Pires et al., 2021; Panyayong & Srikaeo, 2022; Jiménez et al., 2023; Pensamiento et al., 2023; Ribeiro & Vidal, 2023; Marcos et al., 2024).

Las flores utilizadas como alimento de cuaresma en la zona de influencia del tianguis de Tulancingo pueden ser vistas como alimentos culturalmente preferidos y como tales conforman parte de la identidad de una región o población, además de contribuir a la seguridad alimentaria de la misma (Cruz & Pérez, 2017). Sin embargo, los y las recolectoras y vende-

Figure 1. Location of the study area.
Figura 1. Localización de la zona de estudio.



Source: Prepared by the authors based on GPS data (Garmin eTrex10) and Google Earth imagery.

Fuente: Elaboración propia, con datos geográficos obtenidos con geoposicionador (Garmin eTrex10) y Google Earth

ranca de Metztlán (1,500–2,000 m a.s.l.), the climate is temperate semi-arid (BS_1kw) with a mean annual temperature (MAT) of 11–15 °C and mean annual precipitation (MAP) of 500–600 mm. Vegetation is dominated by xerophytic scrub and tropical dry forest. Along the canyon floor, increased water availability from the river supports protected agriculture (greenhouses).

The Tulancingo Valley (2,000–2,200 m a.s.l., occasionally up to 2,400 m) has a semi-arid temperate (BS_1kw) to sub-humid temperate ($Cb[w_0]$) climate, with a MAT of 14–15 °C and MAP of 500–600 mm (García 2004). Native vegetation includes xerophytic scrub and, at higher elevations, coniferous and oak (*Quercus*) forests.

In the Sierra de Tenango and the northern Sierra of Puebla, the climate is humid temperate ($C[fm]$), with a MAT of 16–17 °C and MAP of 1,500–2,500 mm. Vegetation consists primarily of oak–conifer forests and cloud forest (Rzedowski 1978; García 2004; INEGI 2010; Sánchez and Bravo 2017).

doras de estas flores son gente de edad mayor a 40–45 años y pocos jóvenes están presentes en la obtención y comercialización de estas especies, con lo que hay riesgo de que los conocimientos involucrados en el aprovechamiento de estos recursos se vayan perdiendo por falta de relevo generacional y con ello se pierdan estos aspectos de la biodiversidad cultural que involucra varias regiones geo culturales de los estados de Hidalgo y Puebla. Los cambios inherentes a la modernidad también promueven cambios en diversos aspectos de las sociedades, entre estos, los hábitos alimentarios, con la sustitución y la consecuente caída en desuso de este tipo de alimentos (Montes et al., 2022).

En tal sentido, el propósito de este trabajo es dar a conocer las flores comestibles comercializadas en la época de cuaresma en la plaza o tianguis de la ciudad de Tulancingo, Hidalgo, México y la información relacionada con su procedencia, formas de obtención o manejo y preparación.

Populations in these regions self-identify as Nahuatl, Otomí (Ñuhu), or Tepehua. While Spanish predominates in Tulancingo, these Indigenous languages remain in local use.

Data Collection

Fieldwork was conducted in the city of Tulancingo on *tianguis* (market) days during January to April of 2022 and 2023.

A qualitative ethnographic approach was applied, using open-ended and semi-structured interviews with vendors and buyers to document vernacular names, geographic origins, modes of acquisition, and culinary preparation methods of edible flowers. Specimens of each recorded species were purchased to determine market prices and for botanical identification. Identification was carried out using taxonomic keys and by comparison with specimens in the National Herbarium of Mexico (MEXU).

Data collection and interactions with participants adhered to the ethical guidelines of the Latin American Society of Ethnobiology (Cano et al. 2016).

With prior informed consent from selected vendors, visits were made to sites of flower origin to collect voucher specimens and record habitat and morphological characteristics. Botanical nomenclature and species distributions follow the Plants of the World Online database (POWO 2025).

A total of eight visits were made to the Tulancingo *tianguis* and to collection or production sites, including San Bartolo del Llano, "La Barranca," San Pablo, El Chilar, and Loma Larga. During each market visit, 12–20 edible flower vendors were interviewed, resulting in 124 vendor interviews. An additional 20 interviews were conducted with buyers, providing further details on culinary preparation and consumption. Species frequency was calculated as the proportion of market visits in which a species was recorded relative to the total number of visits.

Data were organized into tables and analyzed using descriptive statistics.

Results

Most vendors of edible flowers interviewed at the Tulancingo *tianguis* were women, occasionally accompanied by a man; stalls operated exclusively by men

Metodología

Zona de estudio

Tulancingo es uno de los 84 municipios que conforman el estado de Hidalgo, se ubica hacia el oriente, entre las coordenadas 20° 03' – 20° 13' latitud norte y 98° 14' – 98° 31' longitud oeste (Figura 1), con un gradiente altitudinal entre los 2100 y 2300 msnm. Forma parte de la provincia fisiográfica de la Faja Volcánica Transmexicana y de la Región hidrológica del Río Pánuco, en la Cuenca del Río Moctezuma (Sánchez & Bravo, 2017).

La región de influencia del *tianguis* de Tulancingo comprende al presente y desde épocas precolombinas sitios de las regiones de la Barranca de Metztlán, del Valle de Tulancingo, de la Sierra de Tenango o Región Otomí-Tepehua, todas ellas en el estado de Hidalgo, y de la Sierra Norte del estado de Puebla (Báez, 2012). En la Barranca de Metztlán, la altitud varía entre los 1500 y 2000 msnm, el clima es semiárido templado BS₁kw, con TMA de 11 a 15 °C y PMA de 500 a 600 mm. La vegetación corresponde a matorral xerófilo y bosque tropical caducifolio. En el fondo de la barranca hay mayor disponibilidad de agua por el río que corre ahí y actualmente se desarrolla agricultura protegida (invernaderos).

En el Valle de Tulancingo la altitud es de 2000 a 2200 (2400) m, los climas son semiáridos templados BS₁kw y templados subhúmedos Cb(w_o), con TMA entre 14 y 15 °C y PMA de 500 a 600 mm (García, 2004). La vegetación es matorral xerófilo y de bosque de coníferas y *Quercus* en las partes más altas.

En las sierras de Tenango y Norte de Puebla el clima es templado húmedo C(fm), con TMA de 16 a 17 °C, PMA de 1500 a 2500 mm y la vegetación es de bosque de coníferas *Quercus* y bosque mesófilo (Rzedowski, 1978; García, 2004; INEGI, 2010; Sánchez & Bravo, 2017).

La población que se encuentra en estas regiones tiene filiación nahua, otomí o ñuhu y tepehua, idiomas que aún se hablan en la región, pero en Tulancingo predomina el español.

Registro de información

Para el registro de información sobre flores comestibles se hicieron visitas a la Ciudad de Tulancingo los días de plaza o de *tianguis*, durante los meses de enero a abril de 2022 y 2023.

accounted for only 16–20 % of cases. All of the interviewed buyers were women.

Vendors offering edible flowers have been participating in the *tianguis* since the 1990s and now occupy established stalls. They are primarily agricultural producers who supplement their income by selling both cultivated and foraged products, with edible flowers forming part of a diverse portfolio marketed throughout the year. Depending on the season, their offerings include *quintoniles* (*Amaranthus* spp.), other *quelites* such as *Chenopodium* spp. or *Malva parviflora* L., avocado (*Persea americana* Mill.), mulberry (*Morus celtidifolia* Kunth), tender prickly pear pads (*Opuntia* sp.), prickly pear and xoconostle fruits (*Opuntia* spp.), cilantro (*Coriandrum sativum* L.), pápalo *quelite* (*Porophyllum ruderale* [Jacq.] Cass.), ornamental cuttings (*Pelargonium hybridum* [L.] L'Her., *Epiphyllum* sp.), squash (*Cucurbita* spp.), pecans (*Carya illinoensis* [Wangenh.] K. Koch), common beans (*Phaseolus vulgaris* L.), and ocote pine splits (*Pinus* sp.), among others. Three of the interviewees were generalist vendors: they sold a wider variety of agricultural products, occupied reserved stalls in the *tianguis*, and obtained edible flowers wholesale by purchasing entire harvests or collected quantities from local or regional producers and foragers, which they then resold at retail.

During Lent, a total of 17 edible flower species were recorded at the Tulancingo *tianguis*, representing nine botanical families and 12 genera (Table 1). The family Asparagaceae was the most diverse, with six species, followed by Cactaceae, Cucurbitaceae, and Leguminosae, each represented by two species. The remaining families were represented by a single species each. Nationally, Asparagaceae, Cactaceae, and Leguminosae rank among the families with the greatest diversity of edible flowers (Basurto, 1997).

Species with a frequency of 1.0—recorded in every market visit—included agave flowering stalks (*Agave* spp.), squash blossoms, flowers of *Euphorbia radians*, and flowers of Mexican coral tree. Species with intermediate frequencies (0.5–0.9) were huauzontle edible inflorescences, sotol inflorescence, yuca flowers, flowers of garambullo cactus, and flowers of Texas madrone. Lower frequencies (< 0.5) were recorded for aloe flowering stalks, flower buds of prickly pear cactus, and flowers of West Indian coral tree.

El registro de la información se hizo con un enfoque etnográfico cualitativo empleando entrevistas abiertas y semiestructuradas con comerciantes y compradores. Durante estas entrevistas se preguntó acerca del nombre de las flores, de donde se traían, como se obtenían y cuáles eran las formas de preparación para comerlas. Se hizo también compra de las especies encontradas en cada visita a fin de conocer su costo y tener material para hacer la determinación botánica, la cual se hizo con el uso de claves taxonómicas y cotejo con ejemplares del acervo del Herbario Nacional (MEXU).

En el acercamiento con los entrevistados y en el registro de la información se tomaron en cuenta los lineamientos del código de ética de la Sociedad Latinoamericana de Etnobiología (Cano et al., 2016).

Con el consentimiento previo y en acuerdo con varios de los comerciantes, también se visitaron sitios de procedencia de las flores para realizar la colecta botánica y tomar notas de las características de la planta y su hábitat. Los nombres botánicos y la distribución de las especies se presentan de acuerdo con la información de The Plants of the World on line.

Se realizaron ocho visitas a la plaza de Tulancingo y a algunas de las zonas de procedencia de las flores comestibles como San Bartolo del Llano, 'La Barranca', San Pablo, El Chilar, Loma Larga. En cada visita se entrevistó a las y los comerciantes de flores comestibles que se encontraron en el mercado, entre 12 y 20 cada vez, sumando en total 124 entrevistas. También se entrevistaron 20 compradoras de flores, quienes enriquecieron la información acerca de las formas de preparación de las flores para el consumo. A partir de la presencia de las flores se calculó su frecuencia como el cociente del número de visitas al mercado en que se encontraron entre el total de visitas.

Los datos se organizaron en cuadros y se analizaron con estadística descriptiva.

Resultados

Las personas entrevistadas que venden las flores comestibles son en su mayoría mujeres, que en ocasiones están acompañadas de un varón; los puestos atendidos solo por hombres representan entre el 16 al 20 %. Las personas compradoras entrevistadas fueron todas mujeres.

Las personas que venden las flores comestibles acuden al *tianguis* desde los años 90's del siglo pasado

Table 1. Edible flower species sold at the Tulancingo *tianguis* during Lent.
Cuadro 1. Flores comestibles en el tianguis de Tulancingo durante la Cuaresma.

Family / Species / Familia / Especie	Common Name / Nombre común	Biological Status / Estatus biológico
Amaranthaceae		
<i>Chenopodium berlandieri</i> Moq.	huauzontle (edible inflorescences) / huauzontle	cultivated / cultivado
Asparagaceae		
<i>Dasylirion acrotrichum</i> (Schiede) Zucc.	sotol inflorescence / manita de sotol	wild / silvestre
<i>Agave americana</i> L.	agave flowering stalks / golumbos	cultivated / cultivado
<i>Agave lechuguilla</i> Torr.	lechuguilla agave flowering stalks / golumbos de lechuguilla / golumbos de maguey	wild / silvestre
<i>Agave mapisaga</i> Trel.	maguey agave flowering stalks / golumbos de maguey manso	cultivated / cultivado
<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck	flowering stalks of manso maguey agave flowering stalks of green maguey / golumbos de maguey verde	cultivated wild
<i>Yucca filifera</i> Chabaud	yucca flowers (Spanish dagger flowers) / flor de palma	cultivated wild / cultivado silvestre
Asphodelaceae		
<i>Aloe vera</i> (L.) Burm.f.	aloe flowering stalks / golumbos de sábila	cultivated / cultivado
Bromeliaceae		
<i>Hechtia podantha</i> Mez	wild hechtia inflorescence / manita bronca	wild / silvestre
Cactaceae		
<i>Myrtillocactus geometrizans</i> (Mart. Ex Pfeiff.) Console	flowers of garambullo cactus / flor de garambullo	wild cultivated / silvestre cultivado
<i>Opuntia streptacantha</i> Lem.	flower buds of prickly pear cactus / tunitas	wild cultivated / silvestre cultivado
Cucurbitaceae		
<i>Cucurbita moschata</i> Duchesne	squash blossom / flor de calabaza	cultivated / cultivado
<i>Cucurbita pepo</i> L.	squash blossom / flor de calabaza	cultivated / cultivado
Euphorbiaceae		
<i>Euphorbia radians</i> Benth.	flowers of <i>Euphorbia radians</i> / cuaresma	wild / silvestre
Ericaceae		
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	flowers of Texas madrone / flor de madroño	wild / silvestre
Leguminosae		
<i>Erythrina americana</i> Mill.	flowers of Mexican coral tree / equimite, gásparo	cultivated / cultivado
<i>E. caribaea</i> Krukoff & Barneby	flowers of West Indian coral tree / gásparo	cultivated / cultivado

Source: Authors' field data.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de campo.

Wild hechtia inflorescence was observed only once.

Five species occurred exclusively in the wild, eight were exclusively cultivated, and four appeared in both wild and cultivated forms (Table 1). These plants are obtained from habitats ranging from xerophytic scrub and tropical deciduous forest to coniferous, oak, and cloud forests, as well as from home gardens, agricultural plots, and fallow fields. The majority originate from the semi-arid Barranca de Metztitlán (e.g., sotol inflorescence, agave flowering stalks, aloe flowering stalks, yucca flowers, wild hechtia inflorescence, flowers of garambullo cactus, flower buds of prickly pear cactus, squash blossoms, flowers of *Euphorbia radians*, flowers of Mexican coral tree). Flowers of Texas madrone are collected in the Tulancingo Valley and in the Tenango and northern Puebla sierras. Flowers of Mexican coral tree and flowers of West Indian coral tree are sourced from the Sierra de Tenango, Sierra Norte de Puebla, and the lower canyon zones, where they also grow in home gardens and living fences. Huauzontle edible inflorescences are cultivated in the Tulancingo Valley and surrounding agricultural areas.

Preparation Methods

Harvesting and cleaning practices, as well as the developmental stage at which flowers or inflorescences are consumed, vary by species. In the case of huauzontle, the tender inflorescences are harvested whole, and the smaller branches—preferred for consumption—are separated, boiled, and then shaped into patties filled with cheese, coated in egg batter, and fried. They may also be consumed in their simplest form, boiled.

Sotol inflorescences are collected as whole inflorescences; floral clusters are separated from the peduncle, preferably at the bud stage. They are boiled and then sautéed with egg.

Flowering stalks of agave, maguey agave, and manso maguey (*Agave americana*, *A. mapisaga*, and *A. salmiana*) are harvested either by cutting the entire stalk (quiote) or by removing the floral clusters (“manitas”). Harvested at the bud stage, the ovary, stigma, and stamens—which can impart bitterness—are removed prior to cooking. They may be boiled and later sautéed with egg, or sliced raw and fried.

y tienen ya un lugar reservado en el mismo. Son productores agrícolas que tienen como actividad económica complementaria la venta de productos agrícolas, cultivados o de recolecta, en el tianguis, siendo las flores comestibles uno más de los productos que ofertan a lo largo del año. Dependiendo de la temporada, venden quintoniles *Amaranthus* spp. y otros quelites como *Chenopodium* spp. o *Malva parviflora* L., aguacate *Persea americana* Mill., moras *Morus celtidifolia* Kunth, nopalitos *Opuntia* sp., tunas y xoconostles *Opuntia* spp., cilantro *Coriandrum sativum* L., pápalo quelite *Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass., esquejes de plantas ornamentales (*Pelargonium hybridum* (L.) L’Her., *Epiphyllum* sp.), calabacitas *Cucurbita* spp., nueces *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch, frijoles *Phaseolus vulgaris* L., rajas de ocote *Pinus* sp., etc. Tres de las personas vendedoras entrevistadas son comerciantes más generalistas, es decir venden una mayor variedad de productos agrícolas, tienen ya un lugar reservado en el tianguis y reciben ‘entregas’, es decir compran al mayoreo la producción o recolecta total (en este caso flores comestibles) de las personas que los producen o recolectan local o regionalmente para ellos revender al menudeo.

En la plaza o tianguis de Tulancingo durante la cuaresma se registró la presencia de 17 especies de flores comestibles pertenecientes a nueve familias y 12 géneros. Asparagaceae es la familia con más especies, seis en total, seguida por Cactaceae, Cucurbitaceae y Leguminosae con dos especies cada una. El resto de las familias está representada por solo una especie. (Cuadro 1). Asparagaceae, Cactaceae y Leguminosae son las tres familias con mayor número de especies a nivel nacional (Basurto, 1997).

Las especies que se encontraron en el tianguis en todas las visitas (frecuencia =1.0) fueron los golumbos de *Agave* spp, flor de calabaza, flor de cuaresma, y flor de equimite o colorín. Con frecuencia entre 0.5 y 0.9 se encontró huauzontle, manita de sotol, flor de palma, flor de garambullo y flor de madroño. Los golumbos de sábila, tunitas y gásparo se registraron con frecuencia menor a 0.5. La manita bronca se registró una sola vez.

Cinco especies son silvestres y ocho son cultivadas, además cuatro especies tienen formas cultivadas y silvestres (Cuadro 1). Estas especies se cultivan o se recolectan en regiones con vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosques de coníferas,

For lechuguilla agave flowering stalks, only tender inflorescences and buds without ovaries are collected. After boiling, they are rinsed two or three times in clean water to eliminate bitterness, then sautéed with egg.

Spanish dagger flowers are harvested as whole inflorescences, from which buds and flowers are separated. Only the tepals are used, with reproductive structures removed. They are boiled and generally sautéed with egg. Aloe flowering stalks are consumed at the bud stage; they are separated from the inflorescence, boiled, and then cooked with egg.

Flowering stalks of manso maguey are harvested and prepared in the same manner as sotol inflorescences.

Flowers of garambullo cactus are picked individually at anthesis, eaten whole, and sautéed with egg. They are also commonly used as filling for quesadillas or empanadas.

Flower buds of prickly pear cactus are harvested at the bud stage, preferably downwind to avoid contact with spines or glochids. They are brushed to remove spines, then peeled to eliminate them completely, boiled, and eaten plain or in salads—similar to tender *Opuntia* cladodes—or added to beans while cooking.

Only staminate squash blossoms are used, typically in empanadas or quesadillas, although in the Tulancingo market very small squash fruits retaining their flowers are also sold. For flowers of *Euphorbia radicans*, both the flowers (cyathia) and bracts are consumed. They are gathered from fallow fields and grasslands by cutting the tops of small plants, boiled, and sautéed with egg.

For flowers of Texas madrone, whole inflorescences are collected and individual flowers separated for use either at bud stage or anthesis. They are boiled in a small amount of water, then sautéed with egg or used as filling for empanadas.

For flowers of Mexican coral tree and flowers of West Indian coral tree, entire inflorescences are harvested and both buds and flowers are used. After boiling, they are sautéed with egg to make fritters, which are typically served in tomato broth, sauce, or *mole*.

bosque de encinos y bosque mesófilo, así como en huertos y en terrenos de cultivo en uso o en barbecho. La mayoría de las especies provienen de las zonas semiáridas de la Barranca de Metztitlán (manitas de sotol, golumbos de maguey, golumbos de sábila, flor de palma, manita bronca, flor de garambullo, tunitas, flor de calabaza, cuaresma, equimite), la flor de madroño se recolecta en la zona del Valle de Tulancingo y en las Sierras de Tenango y Norte de Puebla. La flor de equimite y de gásparo son de la Sierra de Tenango y de la Sierra Norte de Puebla, pero también de la parte baja de las barrancas donde crece en huertos y en cercas vivas. El huauzontle es cultivado.

Formas de preparación

La cosecha o recolecta y la limpieza de las flores o inflorescencias para su preparación, así como el estado de desarrollo en que se utilizan es diferente para las distintas especies. Del huauzontle se utilizan las inflorescencias completas, tiernas; se separan las ramas más pequeñas que son las que se utilizan, se cuecen en agua y luego se forman tortitas que se rellenan con queso y se capean con huevo para freírse; también pueden comerse solamente hervidas.

Las manitas de sotol se recolectan como inflorescencias completas de las cuales se separan los fascículos florales del pedúnculo, se aprovechan principalmente en etapa de botón. Se preparan cocidos y luego guisados con huevo.

Los golumbos de maguey *Agave americana*, *A. mapisaga* y *A. salmiana*, se recolectan cortando todo el escape o quiote, o bien solo se cortan las 'manitas' en que se agrupan las flores. Se consumen en etapa de botón y antes de consumirla se elimina el ovario con el estigma y los estambres que pueden dar sabor amargo. Se pueden cocer en agua y luego guisarse con huevo, también se cortan en crudo en rodajas para luego freírse.

Para los golumbos de lechuguilla se recolecta la inflorescencia tierna y de esta se separan solo los botones, sin ovario, se cuecen en agua y luego se lavan en agua limpia dos o tres veces para eliminar el sabor amargo, se guisan con huevo.

La flor de palma se recolecta como inflorescencia completa de la cual se separan los botones y las flo-

Origins of the Edible-Flower Vendors

Vendors of edible flowers come from 18 communities located in the municipalities of Agua Blanca, Acatlán, Acaxochitlán, Cuauhtepic, Huasca de Ocampo, Tulancingo, and Santiago Tulantepec in the state of Hidalgo, as well as Honey and Huauchinango in the state of Puebla (Table 2). Most of these vendors both harvest the flowers themselves and sell them directly at retail. Others—producers or collectors—engage in wholesale transactions, supplying their harvests to intermediary vendors who operate permanent stalls at the *tianguis* and resell the flowers to consumers.

Flowers are sold in standardized “measures,” using oval sardine tins (~466 cm³). The price per measure ranges from MX\$10 to MX\$25 (approximately US\$0.50–1.25), depending on the species and their seasonal availability. In general, flowers of West Indian coral tree, flowers of Mexican coral tree, and agave flowering stalks are the least expensive, while flowers of *Euphorbia radicans*, flowers of Texas madrone, flowers of garambullo cactus, and sotol inflorescences command the highest prices.

res. De estas últimas se utilizan solo los tépalos eliminando las estructuras reproductivas. Se cuecen en agua y generalmente se comen guisadas con huevo. Los golumbos de sábila se comen en estadio de botón, se separan de la inflorescencia y se cuecen en agua para luego guisarse con huevo.

La manita bronca se recolecta y prepara igual que las manitas de sotol.

Las flores de garambullo se recolectan una por una, se comen en antesis, completas y guisadas con huevo; también se acostumbra a consumirlas como relleno de quesadillas o empanadas.

Las tunitas se cortan en etapa de botón, se recomienda hacerlo a favor del viento para evitar que las espinas o aguates (gloquidios) caigan en los ojos. Después se ‘escobetea’ (se barren con una escobeta) para limpiarlas de espinas y aguates, luego de lo cual se ‘pelan’ para eliminarlas totalmente. Ya peladas se cuecen en agua y se pueden comer solas o preparadas como ensalada, igual que los nopalitos (cladodios tiernos de *Opuntia* spp.); también pueden agregarse a los frijoles cuando estos se están cocinando.

Table 2. Communities of origin of edible-flower vendors at the Tulancingo *tianguis*.

Cuadro 2. Comunidades de procedencia de los vendedores de flores comestibles en el tianguis de Tulancingo.

Community / Comunidades	Municipality / Municipio	State / Estado	Region
Agua Blanca	Agua Blanca	Hidalgo	Sierra Tenango
Alcholya	Acatlán	Hidalgo	Barranca Metztlán
El Chilar	Acatlán	Hidalgo	Barranca Metztlán
Loma Larga	Acatlán	Hidalgo	Barranca Metztlán
Los Berros	Acatlán	Hidalgo	Barranca Metztlán
San Bartolo del Llano	Acatlán	Hidalgo	Barranca Metztlán
San Bartolo Barranca	Acatlán	Hidalgo	Barranca Metztlán
San Pablo	Acatlán	Hidalgo	Barranca Metztlán
Coyametepec	Acaxochitlán	Hidalgo	Sierra Tenango
Los Reyes	Acaxochitlán	Hidalgo	Sierra Tenango
San Mateo	Acaxochitlán	Hidalgo	Sierra Tenango
Santa Ana Tzacuala	Acaxochitlán	Hidalgo	Sierra Tenango
Tepepa	Acaxochitlán	Hidalgo	Sierra Tenango
Cuauhtepic	Cuauhtepic	Hidalgo	Valle Tulancingo
Tlaxocoyucan	Huasca	Hidalgo	Barranca Metztlán
Jaltepec	Tulancingo	Hidalgo	Valle Tulancingo
Santa María Asunción	Tulancingo	Hidalgo	Valle Tulancingo
Santiago Tulantepec	Tulantepec	Hidalgo	Valle Tulancingo
Honey	Honey	Puebla	Sierra Norte de Puebla
Huauchinango	Huauchinango	Puebla	Sierra Norte de Puebla

Source: Authors' field data.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de campo

Discussion

The edible flower species sold at the Tulancingo market during the Lenten season originate from three geocultural regions in the state of Hidalgo—Barranca de Metztlán–Sierra Baja, the Tulancingo Valley, and the Tenango Highlands—and one in the state of Puebla, the Sierra Norte. These areas encompass diverse climates and vegetation types, and this environmental heterogeneity is reflected in the relatively high number of species available at the market, representing approximately 10 % of all edible flower species documented nationwide (Basurto, 1997; Mapes & Basurto, 2016).

The diets of rural populations in the region incorporate a broad range of plant species, some known only locally. As in other parts of Mexico, knowledge about the use of these resources has been transmitted across generations. However, modernization is driving cultural change, including shifts in dietary patterns, which may lead to the decline or loss of certain traditional foods (Montes et al., 2022).

Several of the species found at the Tulancingo market—such as squash blossoms, huauzontles (edible inflorescences), yucca flowers (Spanish dagger flowers), flowers of Mexican coral tree, aloe flowering stalks, and agave flowering stalks—are widely reported as food in other regions of Mexico (Mapes & Basurto, 2016). In contrast, species such as *Euphorbia radicans*, *Dasylyrion acrotichum*, *Agave lechuguilla*, *Arbutus xalapensis*, and *Opuntia streptacantha* are rarely documented for edible use (Figueredo et al., 2022), and no published studies have addressed their nutritional composition.

All reported flowers are consumed cooked, in some cases rinsed with clean water after cooking. To reduce bitterness, they may be harvested before anthesis, certain floral parts may be removed, or they may be washed after cooking. Common preparation methods include boiling or frying, often with eggs. Inflorescences and flowers are frequently made into patties eaten plain or in sauces prepared with chili (*Capsicum annuum* L.), husk tomato (*Physalis philadelphica* Lam.), or tomato (*Solanum lycopersicum* L.). They are also used as fillings for empanadas or quesadillas. These culinary practices embody a rich body of ancestral knowledge on the preparation and consumption of edible flowers.

De las flores de calabaza se utilizan solo las flores estaminadas que se preparan en empanadas o quesadillas, aunque en la plaza de Tulancingo también se encuentran a la venta frutos de calabaza o calabacitas muy pequeños que aún conservan la flor. De la flor de cuaresma se comen tanto las flores (ciato) como las brácteas, se recolectan en terrenos de cultivo en barbecho y en llanos con gramíneas, se corta la parte superior de las pequeñas plantas. Se preparan cocidas en agua y guisadas con huevo.

Para obtener la flor de madroño se recolectan las inflorescencias completas para luego separar las flores una por una. Se usan en botón y en anthesis, se cuecen en poca agua y se guisan con huevo o se utilizan para relleno de empanadas.

Del equimite y gásparo se cosechan las inflorescencias completas para luego separar las flores y los botones pues ambos se comen. Se cuecen en agua para luego guisarlas con huevo formando tortitas, que se sirven con caldillo de jitomate, en salsa o en mole.

Lugares de procedencia de los comerciantes de flores comestibles

Las y los vendedores de flores comestibles proceden de 18 comunidades pertenecientes a los municipios de Agua Blanca, Acatlán, Acaxochitlán, Cuautepec, Huasca de Ocampo, Tulancingo y Santiago Tulantepec en Hidalgo, y de Honey y Huauchinango de Puebla (Cuadro 2). La mayoría de las y los comerciantes de flores comestibles las recolectan y las venden al menudeo. Algunos otros productores o recolectores tienen 'entregas', es decir, venden sus productos al mayoreo, a comerciantes intermediarios que tienen puestos en el tianguis, quienes revenden la mercancía al detalle.

La venta de las flores es por 'medida', para lo cual se usan latas ovaladas en que se envasan sardinas, con un volumen aproximado de 466 cm³. Cada 'medida' tiene un costo de \$10.00, \$15.00, \$20.00 y hasta \$25.00 (US \$ 0.50, 0.75, 1.00, 1.25) dependiendo de la especie y de su disponibilidad. En general el gásparo, equimite y los golumbos son los más baratos, mientras que las flores de cuaresma, madroño, garambullo y manitas de sotol son las más caras.

Discusión

Las especies con flores comestibles encontradas en el tianguis de Tulancingo en la temporada de Cuaresma

The inventory of edible flowers in Tulancingo closely parallels that reported for the markets of Pachuca, Hidalgo (Figueredo et al., 2022), both in terms of number and species composition, as well as in the use of the traditional sales unit known as the “measure.” This similarity is unsurprising given the geographic proximity and the long-standing supply and exchange relationships between Tulancingo and Pachuca (Gaxiola, 2009; Navarrete, 2022).

Although flower consumption in Mexico has been documented since the 16th century, the contemporary Lenten tradition incorporates cultural elements foreign to Indigenous peoples, specifically Catholicism introduced during the colonial period. Some ingredients now associated with these dishes—such as chicken eggs, cheese, lard, and vegetable oils—reflect this syncretism. Nevertheless, current florivory in the region also draws on extensive traditional ecological knowledge, including the natural history of the species, optimal harvest periods, collection techniques, pre-cooking treatments, and a diversity of cooking methods. These practices often integrate native crops such as maize, chili, husk tomato, and tomato.

Determining the chemical properties and nutritional profiles of these flowers is essential to promoting their consumption and to assessing both their nutraceutical potential and the presence of possible antinutritional compounds (Sotelo et al., 2007).

From a broader perspective, edible flowers—along with other plant-based resources such as *quelites* (wild greens), roots, tubers, fruits, and wild or semi-domesticated seeds—supplement the staple diet year-round. They enhance dietary diversity by contributing distinctive aromas, flavors, and textures, while also improving nutritional balance.

The supply zones for the Tulancingo market remain traceable today and, as historical records indicate, were already established in pre-Hispanic times (Navarrete, 2022). This continuity underscores the market’s enduring role as a distribution hub and highlights merchant routes that, while now facilitated by modern transportation, are deeply rooted in historical trade networks.

Certain species—such as flowers of *Euphorbia radians*, flowers of garambullo cactus, flowers of Mexican coral tree, and flowers of Texas madrone—are

proviene de tres regiones geo culturales de Hidalgo (Barranca de Metztitlán-Sierra Baja, Valle de Tulancingo y Sierra de Tenango) y una del estado de Puebla (Sierra Norte) que presentan distintos climas y tipos de vegetación. Esta diversidad de hábitats se refleja en el número de especies ofertadas en el mercado, que es relativamente alto puesto que corresponde al 10 % de las especies reconocidas para todo el país (Basurto, 1997; Mapes & Basurto, 2016).

La dieta de las poblaciones rurales incluye un amplio espectro de especies vegetales, algunas de las cuales son conocidas solo localmente. Como en otras regiones del país, el conocimiento sobre el aprovechamiento de estos recursos se ha transmitido de generación en generación, pero en la actualidad la modernización induce cambios en diversos aspectos en las sociedades, entre ellos, cambios en los hábitos alimentarios que pueden conducir a la pérdida del uso de diversos alimentos (Montes et al., 2022).

Varias de las especies de flores comestibles encontradas en el mercado de Tulancingo, como flor de calabaza, huauzontles, flor de palma, flor de equimite, flor de sábila y flores de agave, tienen un gran número de reportes de consumo en otras partes de México (Mapes & Basurto, 2016) pero especies como *Euphorbia radians*, *Dasyllirion acrotichum*, *Agave lechuguilla*, *Arbutus xalapensis* y *Opuntia streptacantha* tienen escasos reportes acerca de su uso comestible (Figueredo et al., 2022) y no hay reportes acerca de su contenido nutricional.

Las flores de todas las especies reportadas se comen cocidas y en algunos casos se lavan con agua limpia luego de cocerse. Para evitar sabores amargos, las especies de flores pueden usarse tiernas (antes de la antesis), eliminar partes de estas o lavarlas luego de la cocción. La cocción puede ser en agua o en aceite y comunmente se preparan con huevo. Con las inflorescencias y flores se preparan principalmente ‘tortitas’ las cuales se comen solas o en salsas de chile *Capsicum annum* L. y tomate *Physalis philadelphia* Lam. o jitomate *Solanum lycopersicum* L. También se usan como relleno de empanadas o quesadillas. Todo esto refleja el ancestral conocimiento que se tiene en la región para el aprovechamiento de estas flores como alimento.

El inventario de flores comestibles reportado en Tulancingo es similar al reportado para mercados

available only during Lent, when they are both consumed and sold. Others remain accessible for longer periods through specific management practices; for example, agave flowering stalks, yucca flowers (Spanish dagger flowers), flowers of Mexican coral tree, aloe flowering stalks, squash blossoms, and huauzontle edible inflorescences are cultivated or semi-cultivated, extending their seasonal availability. The high demand for edible flowers during Lent is due in part to their lower cost compared with foods such as fish or seafood, but also to enduring culinary traditions that likely predate Catholic influence. This demand reflects both cultural persistence and the resilience of biocultural diversity—the dynamic interplay between biodiversity and cultural heritage that sustains the region's food systems. As in many other parts of the world, these long-standing food provisioning practices have adapted over time to changing socioeconomic and cultural conditions (Argumedo et al., 2021; Bastida et al., 2024; Montes et al., 2022).

Conclusions

In the region influenced by the Tulancingo market, the consumption of flowers during the Lenten season is a well-established tradition. In general, the use of flowers as food is limited to specific times of the year, reflecting the natural seasonality of the resource.

The number of species recorded at the Tulancingo market during the early months of the year is notably high, accounting for approximately 10 % of the edible flower species documented nationwide. This finding underscores the importance of local markets as spaces where biocultural heritage is both preserved and expressed.

Much remains to be studied regarding the diversity of edible flowers in Mexico, particularly their nutritional composition, given that the national inventory already includes more than 160 species.

This knowledge, rooted in ancient traditions, has been preserved and adapted to diverse sociocultural contexts, resulting in a syncretism of ingredients and culinary techniques.

Such knowledge and practices hold significant social, cultural, economic, and symbolic value, and should be preserved and disseminated (Montes et

de Pachuca, Hidalgo (Figueredo et al., 2022), tanto en número como en especies, incluso en la forma de venta al público por 'medida', lo cual no es de extrañar dada la cercanía y las relaciones históricas de abasto e intercambio entre Tulancingo y Pachuca (Gaxiola, 2009; Navarrete, 2022).

Si bien el consumo de flores tiene registro escrito en México desde el siglo XVI, el consumo actual de flores en temporada de cuaresma es reflejo de aspectos culturales ajenos a los grupos humanos originarios de América e impuestos por los invasores españoles, en este caso la religión. También hay sincretismo en algunos de los ingredientes usados en la actualidad como es el caso de los huevos de gallina, del queso y de manteca de cerdo o aceites comestibles. Pero esta florifagia refleja también un profundo conocimiento acerca, no solo del consumo de las flores, sino de la historia natural de las especies, de las épocas de obtención, de las formas de cosecha o de recolecta, de la preparación antes de cocinarlas y de las propias formas de cocción, sea solas, en diversos guisos o en empanadas y en asociación con plantas nativas como el maíz, chile, tomate y jitomate.

Es conveniente conocer las propiedades químicas y aporte nutricional de estos productos para promover su consumo, así como evaluar su potencial nutracéutico y también sus características anti nutricionales (Sotelo et al., 2007).

Desde otra perspectiva, las flores comestibles, junto con otros recursos vegetales alimentarios, como quelites, raíces y tubérculos, frutas o semillas silvestres o en procesos de cultivo incipiente, complementan la dieta básica a lo largo del año, dando a la misma variedad en olores, sabores, texturas y complementando los aportes nutricionales para satisfacer los requerimientos humanos.

En el caso del tianguis de Tulancingo es posible reconocer las zonas de abasto actuales, y que ya lo eran desde tiempos prehispánicos (Navarrete, 2022). Esto es indicativo de la importancia de esta plaza como centro de abasto y distribución, al mismo tiempo que permite entender y reconocer las rutas de desplazamiento de los comerciantes, que en la actualidad se ven favorecidas por las vías de comunicación y de transporte motorizado pero que son de rai-gambre histórica.

al., 2022; Bastida et al., 2024). Ensuring their continuity is key to safeguarding both current and potential culinary uses of flowers within Mexican cuisine, which has been recognized since 2010 as Intangible Cultural Heritage of Humanity. More importantly, Mexican cuisine represents a millennia-old heritage (Good & Corona, 2011), one that has demonstrated remarkable resilience and is closely tied to ancestral processes of plant selection, management, and agroecosystem stewardship. These traditions can—and should—be leveraged to advance social well-being by strengthening food security, nutrition, and sustainability in the face of global environmental change (Argumedo et al., 2021), while also acknowledging their integral contribution to the food system.

Acknowledgments

We are deeply grateful to the vendors of the Tulancingo market for generously sharing their knowledge, and to the staff of the Botanical Garden at the Institute of Biology, National Autonomous University of Mexico, for their valuable support and assistance. We also thank the anonymous reviewers for their insightful comments, which significantly contributed to strengthening the manuscript.

End of English version

=====

References / Referencias

- Araujo, ME. (2025). Por qué no se debe comer carne durante los viernes de cuaresma. <https://www.infobae.com/mexico/2025/03/07/por-que-no-se-debe-comer-carne-durante-los-viernes-de-cuaresma/> [Consultado junio 2025]
- Argumedo, A., Song, Y., Khoury, C., Hunter, D., Dempewolf, H., Guarino, L., & de Haan, S. (2021). Biocultural Diversity for Food System Transformation under Global Environmental Change. *Front. Sustain. Food Syst.* 5:685299. doi: 10.3389/fsufs.2021.685299.
- Arazola, A., Hernández, E., & Rodríguez, G. (2018). Conocimiento tradicional de plantas silvestres en una comunidad de los Valles Centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 5(1): 55-78.
- Avila, U. M., Suárez, M. L., Osorio, R. M., & Velasco, G. (1993). Análisis proximal de algunos constituyentes de la dieta complemen-

ta. Especies como la cuaresma, flor de garambullo, equimite y flor de madroño solo se encuentran disponibles durante la época de cuaresma, temporada en que son utilizadas y comercializadas. En cuanto a otras especies su aprovechamiento se amplía durante más meses del año, esta accesibilidad del recurso se debe a las distintas formas de manejo, ya que las flores de maguey y de palma, equimite, sábila, calabaza y huauzontle se encuentran cultivadas o semicultivadas, lo que permite disponer de este recurso por más tiempo. Estas flores comestibles que abastecen el mercado durante la época de cuaresma tienen mucha demanda, debido en parte a su bajo costo comparado con otro tipo de alimentos como pescado o mariscos, pero también a la tradición de consumo, que es seguramente anterior a la imposición de la religión católica, y al conocimiento acerca de los recursos naturales que pueden ser aprovechados como alimento que preservan las poblaciones y comunidades de la región, es decir, a la biodiversidad cultural que se desarrolló y permanece en las comunidades humanas que viven y han vivido en estas regiones, y que como en otras regiones del mundo, desde hace un largo tiempo mantiene la experiencia para el suministro de alimentos (Argumedo et al., 2021; Bastida et al., 2024), con los cambios y adecuaciones causadas por cuestiones socioeconómicas y culturales que suceden en las sociedades humanas (Montes et al., 2022).

Conclusiones

En la región de influencia del mercado de Tulancingo se reporta el consumo de flores en la temporada de cuaresma. El consumo de flores como alimento en general está limitado a determinadas temporadas específicas, por la misma naturaleza estacional del producto.

El número de especies registradas en el mercado de Tulancingo en los primeros meses del año se considera alto al representar el 10 % del inventario nacional conocido.

Falta aún por explorar en cuanto al inventario de flores comestibles en México. Asimismo, estudios sobre el contenido nutricional de estas flores que integran un inventario que llega a más de 160 especies.

Estos saberes datan de tiempos remotos y se han mantenido y adecuado a diferentes condiciones so-

- taria de los Tenek de Aquismón San Luis Potosí. En: J. Ruvalcaba y G. Alcalá (coord.). *Huasteca. II. Prácticas agrícolas y medicina tradicional. Arte y Sociedad* (pp. 25-39). CIESAS. México, D.F.
- Báez, L. (2012). Hidalgo y sus regiones: una aproximación. En: L. Báez, G. Garret, D. Pérez, B. Moreno, U. Fierro y M. Hernández. (coord.) *Los pueblos indígenas de México. Hidalgo. Atlas etnográfico* (pp. 23-31). Gobierno del estado de Hidalgo. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México, D. F.
- Balcázar, A.L., White, L., Chávez, C., & Zepeda, C. (2020). Los quelites: riqueza de especies y conocimiento tradicional en la comunidad otomí de San Pedro Arriba, estado de México. *Polibotánica* 49: 219-242. DOI: 10.18387/polibotánica.49.14.
- Bastida, I., Avila, D. M., Albino, R., & Pillado K. V. (2024). Diversidad biocultural y soberanía alimentaria: arvenses comestibles de la milpa otomí en Santa Ana Jilotzingo, Estado de México. *Revista de Geografía Agrícola* 73. <https://doi.org/10.5154/rga.2021.73.7>.
- Basurto, F. (1997). Flores comestibles. En R. Bye (comp.). *Flores Mexicanas*. CVS Publicaciones. México, D. F.
- Basurto, F., Martínez, M. A., & Villalobos, G. (1998). Los quelites de la Sierra Norte de Puebla, México: inventario y formas de preparación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 62: 49-62.
- Basurto, F. (2011). Los quelites de México: especies de uso actual. En L. Mera, D. Castro y R. Bye (comp.) *Especies vegetales poco valoradas: una alternativa para la seguridad alimentaria* (pp. 23-45). Instituto de Biología, UNAM. SNICS-SINAREFI. México, D.F.
- Bourges, H., Morales, J., Camacho, M., & Escobedo, G. (eds.) (1996). *Tabla de composición de alimentos. Edición de aniversario*. Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Subirán. México, D.F.
- Bravo, D., Sánchez, J., Osorno, T., Landeros, F., & Cabrera, J. (2022). Etnobiología del noreste de la reserva de la Biosfera Sierra Gorda, Querétaro, México. *Etnobiología* 20(3): 86-102.
- Cano, E. J., Medinaceli, A., Sanabria O. L., & Argueta, A. (2016). Código de ética para la investigación-acción y colaboración etnográfica en América Latina. *Etnobiología* 14 Supl. 1: 5-29.
- Castro, D. (2000). Etnobotánica y papel económico de cuatro especies de quelites en Tuxtla, Zapotitlán de Méndez, Puebla, México. [Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México]. México. D.F.
- Centurión, D., Alor, M. J., Espinosa, J., Gómez, E., Solano, M. L., & Poot-Matu, J. E. (2009). Contenido nutricional de inflorescencias de palmas en la Sierra del estado de Tabasco. *Universidad y Ciencia* 25(3): 193-199.
- CONABIO. (2020). Alimentos y bebidas. Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la biodiversidad, Cd. de México. México. Contenido: Sebastián Mejía y Lucila Neyra. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos> [Consultado mayo, 2025].
- Cruz, J., & Pérez J. G. (2017). Seguridad, diversidad y alimentos culturalmente preferidos por familias rurales de municipios marginados de Chiapas, México. *Revista de Geografía Agrícola* 61:103-126. [dx.doi.org/10.5154/rga.2017.61.05](https://doi.org/10.5154/rga.2017.61.05).
- Dos Santos, I., & Novaes, S. (2021). Edible flowers: traditional and current use. *Ornamental horticulture*. 27(4): 438-445. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v27i4.2392>.
- Fernandes, L., Casal, S., Pereira, J. A., Saraiva, J. A., & Ramalhosa, E. (2017). Edible flowers: A review of the nutritional, antioxidant, antimicrobial properties and effects on human health. *J. Food Compost. Anal.* 2017, 60, 38-50.
- cio culturales, resultando en la actualidad en un sincretismo de materiales y técnicas culinarias.
- Estos conocimientos y prácticas son de gran valor e importancia desde diversos enfoques: social, cultural, económico, simbólico, por lo que hay que preservarlos y difundirlos (Montes et al., 2022; Bastida et al., 2024), asegurando así prácticas culinarias y usos actuales y potenciales de las flores en la gastronomía mexicana, la cual desde el año 2010 es Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad, pero aún más importante que esto, la cocina en México es una herencia milenaria (Good & Corona, 2011), que ha demostrado ser resiliente y está estrechamente articulada con ancestrales procesos de selección y manejo de plantas y de agroecosistemas, que puede y debe ser aprovechada para el logro del bienestar social en cuanto a seguridad alimentaria, nutrición y sostenibilidad en este entorno de cambio ambiental global (Argumedo et al., 2021) con el reconocimiento de su contribución al sistema alimentario.

Agradecimientos

Agradecemos a las y los comerciantes del tianguis de Tulancingo por compartir sus conocimientos, así como a las autoridades del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México por las facilidades otorgadas. A quienes hicieron la revisión del manuscrito de manera anónima, cuyos comentarios contribuyeron en gran medida a mejorarlo.

Fin de la versión en español

- Fernandes L., Ramalhosa E., Pereira J., Saraiva J., & Casal S. (2018). The unexplored potential of edible flowers lipids. *Agriculture* 2018, 8, 146. doi:10.3390/agriculture8100146.
- Figueredo, C., Alvarez, G., & Cortés, L. (2022). Edible flowers commercialized in local markets of Pachuca de Soto, Hidalgo, México. *Botanical Sciences* 100(1): 120-138. DOI: 10.17129/botsoci.2831.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Serie Libros No. 6. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Gaxiola, M. (2009). Huapalcalco, un santuario-mercado del epiclásico en la región de Tulancingo. En: Long, J. y Attolini, A. (coord). *Caminos y mercados de México*. (pp. 185-220). Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México. <http://www.historicas.unam.mx/publicaciones/publicadigital/libros/caminosymercados/mercados.html>.
- Good, C., & Corona, L. E. (2011). Estudiando la comida y la cultura mesoamericana frente a la modernidad. En: Good, C. y Corona L. E. (coord). *Comida, cultura y modernidad en México. Perspectivas antropológicas e históricas*. (pp. 11-38). INAH. ENAH.
- Guiné, R., Florenca, S., Villalobos, K., & Anjos, O. (2020). Edible flowers, Old Tradition or New Gastronomic Trend: A First Look at Consumption in Portugal versus Costa Rica. *Foods* 2020, 9, 977. doi:10.3390/foods9080977.
- Harlan, J. (1992). *Crops and man*. 2nd. Ed. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Hernández, M. G. (2025). Ayunar libera, cuarto mandamiento de la iglesia. https://www.arquidiocesisdexalapa.com/noticias/2581/ayunar_libera_cuarto_mandamiento_de_la_iglesia [Consultado junio 2025]
- Hernández Xolocotzi, E., Vargas, A., Gómez, N. T., Montes, J., & Brauer, F. (1983). Consideraciones etnobotánicas de los mercados de México. *Revista de Geografía Agrícola* 4: 13-28.
- Hersh-Martínez, P., García, M. M., & Fierro-Álvarez, A. (1999). *Acacia acatlensis*: an alimentary resource in Southwest Puebla and North of Guerrero, Mexico. *Economic Botany* 53(4): 448-451.
- INEGI. (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010. Tulancingo de Bravo, Hidalgo. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/13/13077.pdf. [Consultado mayo 2023].
- Jadhav, H. B., Badwaik L., Annapure, U., Casanova, F., & Alaskar, K. (2023). A review on the journey of edible flowers from farm to consumer's plate. *Applied Food Research* 3 (2023) 100312. doi.org/10.1016/j.afres.2023.100312.
- Jaimes, O. (2023). Tianguis de Tulancingo, más de mil años de antigüedad. El Sol de Tulancingo. <https://oem.com.mx/elsoldetulangingo/local/tianguis-de-tulancingo-mas-de-mil-anos-de-antigüedad-19104274> [Consultado mayo 2025].
- Janarny, G., Prassana, K. D., & Ranaweera, K. K. (2021). Nutraceutical potential of dietary phytochemicals in edible flowers: A review. *Journal of Food Biochemistry* 2021;45:e13642. DOI: 10.1111/jfbc.13642.
- Jiménez, M., Juárez, N., Mendoza, M. R., Monribot, J. L., & Guerrero, J. A. (2023). Nutraceutical potential and antioxidant and antibacterial properties of *Quararibea funebris* flowers. *Food chemistry* 411 (2023) 135529. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135529>.
- Lara, E., Osorio, P., Jiménez, A., & Bautista, S. (2013). Contenido nutricional, propiedades funcionales y conservación de flores comestibles. Revisión. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 63(3):197-208.
- León-Portilla, M. (2006). Mesoamérica una civilización originaria. *Arqueología Mexicana* 79: 18-27.
- Llorente, J., & Ocegueda, S. (2008). Estado del conocimiento de la biota. En: *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México.
- Lozano, a., Roa, U., & Rivera, J. (2022). Las plantas endémicas comestibles de temporada de Santa Ana Teloxtoc: Una revisión cultural y sostenible. *RD-ICUAP* 8(22): 42-60.
- Manzanero, G., Vásquez, M., Lustre, H., & Pérez, A. (2020). Ethnobotany of food plants (quelites) sold in two traditional markets of Oaxaca, Mexico. *South African Journal of Botany* 139: 215-223.
- Mapes, C., & Basurto, F. (2016). Biodiversity and edible plants of Mexico. In: R. Lira, A. Casas & J. Blancas (eds). *Ethnobotany of Mexico. Interactions of People and Plants in Mesoamerica* (pp. 83-132). Springer, New York.
- Marcos, R., Vera, A., Pérez, M., Martínez, L., Hernández, S., Martínez, D., & Chávez, J. L. (2024). Phenolic compounds and antioxidant activity in edible flowers species from Oaxaca. *Applied Science* 2024, 14, 3136. <https://doi.org/10.3390/app14083136>.
- Martínez, M. A., Evangelista, V., Mendoza, M., Morales, G., Toledo, G., & Wong, A. (1995). *Catálogo de plantas útiles de la Sierra Norte de Puebla, México*. Cuadernos 27. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Martínez, D., Alvarado, R., Mendoza, M., & Basurto, F. (2006). Plantas medicinales de cuatro mercados del estado de Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 79(2): 81-89.
- Martínez, S., Aguilar, F., & Hernández, L. (2021). Plantas silvestres comestibles de La Barreta, Querétaro, México y su papel en la cultura alimentaria local. *Etnobiología* 19(1): 41-62.
- Mendoza, L., & Barón, M. L. (2022). Marchantas de la región capital de Veracruz: los saberes alimentarios de una actividad productiva/comercial. *Revista de Geografía Agrícola* 70: 175-190.

- Molina, N. (2000). Etnobotánica de quelites en el sistema milpa en Zoatepecan, una comunidad indígena nahuatl de la Sierra Norte de Puebla. [Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México]. México. D.F.
- Montes Rentería, R., Ramírez García, A. G., Ramírez Miranda, C. A., & Cruz León, A. (2022). Plantas útiles para la etnia yaqui en Sonora, México. *Revista de Geografía Agrícola*, (68), 113–130. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2022.68.07>.
- Morales, J, Bourges, H., & Camacho, M. (2015). *Tablas de composición de alimentos y productos alimenticios (versión condensada 2015)*. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. Ciudad de México.
- Mulík, S., & Ozuna, C. (2020). Mexican edible flowers: Cultural background, traditional culinary uses, and potential health benefits. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 21 (2020) 100235. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100235>.
- Navarrete, D. (2022). El comercio indígena en Tulancingo a fines del siglo XVIII: mercancías, actores y espacios económicos. En: A. Escobar, V. Gayol, L. Gómez, L. Machuca, D. Navarrete y V. Ramírez. *Indígenas y comercio en la Nueva España del siglo xviii (Ixmiquilpan, Guadalajara, Huasteca potosina, Tehuantepec, Tulancingo, Tlaxcala)* (pp. 49-76). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca de Soto, Hidalgo.
- Nunes, C. (2007). Somos lo que comemos. *Estudios y Perspectivas en Turismo* 10: 234-242.
- Panyayong, C., & Srikaeo K. (2022). Foods from banana inflorescences and their antioxidant properties: An exploratory case in Thailand. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 28 (2022) 100436. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100436>.
- Pensamiento, C., Castañeda, A., Añorve, J., Hernández, A., Aguilar, K., & Ojeda, D. (2023). Edible Flowers and Their Relationship with Human Health: Biological Activities. *Food Reviews International*, DOI: 10.1080/87559129.2023.2182885.
- Pires, E., Di Gioia, E., Roupheal, Y., Ferreira, I., Caleja, C., Barros, L., & Petropoulos S. (2021). The compositional aspects of edible flowers as an emerging horticultural product. *Molecules* 2021, 26, 6940. <https://doi.org/10.3390/molecules26226940>.
- Placencia, D. (2023). La iglesia en la Nueva España. *Historiagenda* 46: 47-59.
- POWO. (2025). Plants of the World Online. <https://powo.science.kew.org/> [Consultado mayo 2025].
- Pulido, M. T., Briseño J., Juárez, N., León, H. C., Serrano, T., Reyes, L., Smith, L., Basurto, F. (2024). Los quelites de Hidalgo, México: ¿cuáles son, cómo son percibidos y quienes los venden?. *Etnobiología* 22(3): 63-82.
- Ribeiro, B., & Vidal, M. (2023). Bioactive compounds and biological actions in edible flowers species. In: M. Pinho, M. A. Schueda, D. Brostulin (org). *Principles and concepts for development in nowadays society*. Chapter 27. pp 341-351. Seven Editora. Sao Jose dos Pinhais, PR.
- Rop, O., Mlcek, J., Jurikova, T., Neugebauerova, J., & Vabkova, J. (2012). Edible flower- A new promising Source of Minerals Elements in Human Nutrition. *Molecules* 17, 6672-6683. DOI:10.3390/molecules17066672.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. LIMUSA. México D. F.
- Rzedowski, J. (1991). El endemismo en la flora fanerogámica mexicana: una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mexicana* 15: 47-64.
- Sandoval M. E., De Loera, E. E., Martínez, V. M., & Zumaya, S. G. (2023) Plantas silvestres comestibles del estado de Aguascalientes, México, sus formas de consumo y comercialización. *Polibotánica* 55: 213-230. DOI: 10.18387/polibotanica.55.14.
- Sahagún, B. (1979). Historia general de las cosas de Nueva España. Porrúa. México.
- Sánchez, G., & Bravo, J. (2017). Medio físico del estado de Hidalgo. En A. Ramírez, A. Sánchez, G. Sánchez y Cuevas. (eds). *Biodiversidad del estado de Hidalgo*: 29-42. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. CONACyT. Pachuca de Soto, Hidalgo.
- SEMARNAT. (2014). El medio ambiente en México 2013-2014. La biodiversidad Mexicana. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/04_biodiversidad/4_1.html.
- Sotelo, A., López, S., & Basurto, F. (2007). Content of nutrient and antinutrient in edible flowers of wild plants in Mexico. *Plant Foods and Human Nutrition* 62: 113-138. DOI 10.1007/s11130-007-0053-9.
- Vázquez, M. C. (1987). *El Uso de Plantas Silvestres y Semicultivadas en la Alimentación Tradicional en dos Comunidades Campesinas del Sur de Puebla*. [Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México]. México.
- Villa. A. (1991). *Las plantas utilizadas en forma tradicional en la alimentación en una comunidad nahua del Estado de Hidalgo*. [Tesis de licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México]. México. D.F.
- Villaseñor. M. R. (1988). *Etnobotánica de plantas comestibles en dos comunidades: San Pablito y Xolotla en la Sierra Norte de Puebla*. [Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México]. México. D.F.
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(3) DOI:<https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>.



Agrarian parks as a territorial figure in urban agri-food systems. The case of Madrid city-region

Héctor Ávila Sánchez*

Abstract

Current modes of agri-food production in peri-urban and metropolitan areas are analyzed. The main objective is to study processes and forms derived from territorial reconfiguration and the strengthening of sustainable local agriculture. The analysis of agricultural parks as an innovative territorial concept, as a safeguard for natural agricultural spaces and as a diversifying and multifunctional element in a context of accelerated urbanization is highlighted. It outlines the state of the art on the main territorial dynamics linked to agri-food systems. It presents the case of two agricultural parks in the city-region of Madrid, where sustainable food production is carried out, which in certain circumstances assume alternative models of solidarity-based production and consumption, with significant impacts on the socio-territorial environment. Using information obtained through interviews with producers and stakeholders involved in management, territorial forms that explore alternative food modalities are analyzed, which have an impact on the territorial sustainability of natural spaces within metropolitan systems and on access to diverse options for healthy eating.

Keywords: Periurbanization, proximity, alternative models, multi-functionality, short circuits.

Los parques agrarios como figura territorial en los sistemas agroalimentarios urbanos. El caso de la ciudad-región de Madrid

Resumen

Se analizan modalidades actuales de la producción agroalimentaria en espacios periurbanos y metropolitanos. Como objetivo principal, se estudian procesos y formas derivadas de la reconfiguración territorial y el fortalecimiento de la agricultura sustentable de proximidad. Destaca el análisis de los parques agrarios como figura territorial innovadora, como salvaguarda de los espacios naturales agrícolas y como elemento diversificador y multifuncional en un contexto de urbanización acelerada. Se esboza un estado del arte sobre las principales dinámicas territoriales vinculadas a los sistemas agroalimentarios. Se presenta el caso de dos parques agrarios en el entorno de la ciudad-región de Madrid, donde se lleva a cabo la producción alimentaria sustentable, que en determinadas circunstancias asumen modelos alternativos de producción y consumo solidario, con importantes impactos en el entorno socio-territorial. Con información obtenida mediante entrevistas a productores y actores que intervienen en la gestión, se analizan formas territoriales que exploran modalidades alimentarias alternativas, que repercutan en la sustentabilidad territorial de los espacios naturales insertos en los sistemas metropolitanos y en el acceso a opciones diversas para una alimentación sana.

Palabras clave: Periurbanización, proximidad, modelos alternativos, multifuncionalidad, circuitos cortos.

Introduction

Agricultural spaces in the context of metropolitanization

Peri-urban areas are characterized by a wide diversity of territorial, environmental, and cultural diversity resulting from urban expansion. These areas are undergoing a permanent transformation from rural to urban use due to the expansion of residential areas (second residences and family housing complexes), as well as large urban and transportation infrastructures (Ávila, 2024; 2016). However, agricultural functions are preserved in peri-urban areas, harmonized with the surrounding economic context, which allows them to claim their identity as territorial heritage (Segrelles, 2015). The gradual integration of rural areas into the metropolitan area is a constant feature of the relentless dynamism of the urban phenomenon in modern capitalism. There is a tendency to exploit inherited urban planning morphologies at all spatial scales to create new formations at another scale of urbanized territorial organization (Brenner & Schmid, 2016). This result is a “shifting” (feverish) landscape of rapid change, where long-term territorial expressions are unpredictable (Friedmann, 2016).

Agriculture occupies a significant part of the natural and cultural landscape in peripheral areas under urban influence. Its dynamics involve a wide variety of agents who establish and carry out links, negotiations, and exchanges with the various stakeholders (politicians, planners and citizen organizations) (Poulot, 2011). Priority is given to the development of short chains and interaction with actors involved in production, processing, and distribution; it also incorporates synergies with agrotourism and the management of natural landscapes (Zasada, 2011). This differentiated spatial arrangement identifies new actors who influence the construction of these territories and their action systems; it recognizes and analyzes in detail the new agricultural urbanities and current models of governance between the city and agricultural production for food (Lardon & Loudiyi, 2014; Torre, 2013). Novel responses are generated, such as the articulation of an alternative model of production and alternative consumption in terms of the circular economy (Yacamán, 2018).

Introducción

Los espacios agrícolas en el contexto de la metropolización

En los espacios periurbanos existe una amplia diversidad territorial, ambiental y cultural producto de la expansión urbana. Ahí se experimenta una permanente transformación del suelo de rural a urbano, debido a la expansión de los espacios habitacionales (residencias secundarias y conjuntos de viviendas familiares), así como también de las grandes infraestructuras urbanas y del transporte (Ávila, 2024; 2016). Sin embargo, en el espacio periurbano se preservan las funciones agrícolas, armonizadas con el contexto económico circundante, que permite reivindicar su identidad como patrimonio territorial (Segrelles, 2015). La paulatina integración de los espacios rurales en el ámbito metropolitano es una constante del dinamismo incesante del fenómeno urbano en el capitalismo moderno. Una tendencia a explotar morfologías heredadas del urbanismo en todas las escalas espaciales, para crear nuevas formaciones a otra escala de organización territorial urbanizada (Brenner & Schmid, 2016). Un paisaje “movidizo” (febril), de rápidos cambios, donde las expresiones territoriales a largo plazo son impredecibles (Friedmann, 2016).

La agricultura ocupa una parte del paisaje natural y cultural en las áreas periféricas bajo influencia urbana. En su dinámica intervienen una gran diversidad de actores, que establecen y desempeñan vinculaciones, negociaciones e intercambios con las diversas instancias que participan (políticos, planificadores, organizaciones ciudadanas (Poulot, 2011). Se prioriza el desarrollo de cadenas cortas y la interacción con actores involucrados en la producción, procesamiento y distribución; incorpora también sinergias con el agroturismo y la gestión de los paisajes naturales (Zasada, 2011). Este arreglo espacial diferenciado, identifica a nuevos actores que inciden en la construcción de dichos territorios y sus sistemas de acción; reconoce y analiza detalladamente las nuevas urbanidades agrícolas y los modelos vigentes en la gobernanza entre la ciudad y la producción agrícola para la alimentación (Lardon & Loudiyi, 2014; Torre, 2013). Se generan respuestas novedosas, como la articulación de un modelo alternativo de producción y consumo alternativo, en términos de la economía circular (Yacamán, 2018).

Initiatives that transcend towards sustainable management in food production in urban and peri-urban areas involve the construction of solid territorial governance. (Ávila, 2016). Nowadays, these expressions converge in the Milan Pact, which establishes the possibilities and links between food production in medium-sized and large cities worldwide. The aim is to develop sustainable, inclusive, resilient, safe and diversified food systems, promoting the production of healthy and accessible food for urban dwellers, with a priority on food social justice. (Ávila, 2024). Foundations and lines of action are established that reinforce citizens' right to food (Milan Urban Food Policy Pact, 2015).

The objective of this article is to analyze diverse forms and processes that have arisen from the territorial reconfiguration of urban agri-food systems. It emphasizes the role of agricultural parks, agricultural production spaces embedded in the hierarchy of metropolitan systems, where local agriculture is strengthened based on sustainable food production, primarily agroecological and using local species.

Using a qualitative methodology, the case of two agricultural parks in the city-region of Madrid is analyzed, focusing on the Soto el Grillo agroecological park. The analysis is based on semi-structured interviews with active agricultural producers, as well as with technicians and officials responsible for the park's territorial management. This research method was chosen due to the scarcity of bibliographic and documentary information, as well as the absence of a statistical data system on production and marketing that would allow for a comprehensive analysis of their actual participation in local and regional economic dynamics. A synoptic table of the characteristics of the producers participating in the agroecological park is presented in the corresponding space.

New socio-territorial modalities and processes in food production

Alternative forms of urban and peri-urban food production are incipient, although they do exist and are proposed as a perspective with social, sustainability, and health meanings and purposes (Ávila, 2024). In the international context, the production of healthy foods has given way to new forms of cooperative institutions, which could potentially have a greater impact

Las iniciativas que trascienden hacia una gestión sustentable en la producción de alimentos en ámbitos urbanos y periurbanos pasan por la construcción de una sólida gobernanza territorial (Ávila, 2016). En la actualidad, dichas expresiones concurren en el Pacto de Milán, donde se establecen las posibilidades y las vinculaciones de la producción alimentaria en medianas y grandes ciudades mundiales. Se pretende desarrollar sistemas alimentarios sostenibles, inclusivos, resilientes, seguros y diversificados, en el impulso a la producción de alimentos sanos y accesibles para los habitantes de las urbes, con prioridad en la justicia social alimentaria (Ávila, 2024). Se establecen fundamentos y líneas de acción que refuerzan el derecho ciudadano a la alimentación (Milan Urban Food Policy Pact, 2015).

El objetivo del presente artículo consiste en analizar formas y procesos diversos que se han derivado de la reconfiguración territorial de los sistemas agroalimentarios urbanos. Se enfatiza en la figura de los parques agrarios, espacios de producción agrícola insertos en la jerarquía de los sistemas metropolitanos, donde se fortalece la agricultura de proximidad con base en la producción sustentable de alimentos, fundamentalmente agroecológicos y de especies locales.

Bajo una metodología cualitativa, se analiza el caso de dos parques agrarios en la ciudad-región de Madrid, tomando como estudio central el parque agroecológico Soto el Grillo. El análisis se fundamenta en entrevistas semi-estructuradas realizadas a los productores agrícolas activos, así como también a técnicos y funcionarios encargados de la gestión territorial de dicho parque. Se escogió este método de investigación debido a la escasez de información bibliográfica y documental, así como por la ausencia de un sistema de datos estadísticos sobre producción y comercialización, que permitiera un análisis integral sobre su participación real en la dinámica económica local y regional. En el espacio correspondiente, se presenta un cuadro sinóptico acerca de las características de los productores que participan en el parque agroecológico.

Nuevas modalidades y procesos socio-territoriales en la producción de alimentos

Las formas alternativas de producción alimentaria urbana y periurbana son incipientes, si bien existen y se plantean como una perspectiva con sentidos y fines

in the short and medium term in promoting sustainable food. (Sanz & Yacamán, 2022) In this context, the issue of governance is fundamental to understanding the diverse participation or actions of actors in food security (López-García et al., 2020).

Since the mid-1990s, the literature on rural and urban-metropolitan studies has a rise in the analysis of alternative food networks (AFNs) and short food supply chains (small farmers' markets, farm shops, fruit and vegetable baskets, pick your own farms, community supported agriculture, e-commerce sales, etc.) (Borsellino et al., 2020). This is a way of rural restructuring in globalization which stimulates the development of small local farms in urban and peri-urban areas. They give rise to a diversity of processes depending on the particularities of place and time, in addition to generating inequalities, contradictions, and tensions among participants (Jarosz, 2008).

Territorial expressions and processes linked to local peri-urban agriculture

Currently, there are numerous processes through which differentiated facets of the institutionalization of sustainable food in urban and peri-urban environments are manifested. They constitute differentiated forms of territorial restructuring inserted in metropolitan systems, with precise impacts on the dynamics of land use and the continuous transformation of cultivation patterns. (Ávila, 2024; 2016).

City-Region Food Systems (SACR by its Spanish acronym) are established on the basis of links between urban centers and their surrounding rural areas, where shorter food supply chains are promoted and regional food enterprises are established, while participatory governance structures are created and strengthened. The role of SACRs is to improve the optimal linkage between urban and rural areas. (López-García, et al., 2020; Jennings et al., 2015; Tornaghi & Dehaene, 2019).

There are two main types of SACR. The first involves small peri-urban producers and informal and subsistence agents, who mainly produce vegetables and small animal species. The other type involves a small number of agents at various stages of the supply chain, as well as a formalized and consolidated retail sector, mainly for processed foods. (Jennings et al., 2015). These are community-based organizations or

sociales, de sustentabilidad y sanitarias (Ávila, 2024). En el contexto internacional, la producción de alimentos sanos ha dado paso a nuevas fórmulas de institucionalidad cooperativa, que potencialmente, pudieran tener un mayor impacto a corto y medio plazo en el impulso a la alimentación sostenible (Sanz & Yacamán, 2022). En ese ámbito, la cuestión de la gobernanza es fundamental en la comprensión de las participaciones o acciones diversas de los actores en la seguridad alimentaria (López-García et al, 2020).

Desde mediados de la década de los años 90, en la literatura sobre los estudios rurales y los urbano-metropolitanos, tomó auge el análisis de las redes alimentarias alternativas (AFN) y las cadenas cortas de suministro de alimentos (mercados de pequeños agricultores, tiendas agrícolas, cestas de frutas y verduras, granjas de recolección, agricultura comunitaria, ventas a través del comercio electrónico, etc.) (Borsellino et al, 2020). Constituye una modalidad de la reestructuración rural en la globalización, que estimula el desarrollo de pequeñas granjas de proximidad en áreas urbanas y periurbanas. Dan lugar a una diversidad de procesos según la particularidad de lugar y tiempo, además de generar desigualdades, contradicciones y tensiones entre los participantes (Jarosz, 2008).

Expresiones territoriales y procesos vinculados a la agricultura periurbana de proximidad

En la actualidad, se expresan numerosos procesos mediante los que se manifiestan facetas diferenciadas de la institucionalización de la alimentación sostenible en entornos urbanos y peri-urbanos. Constituyen formas diferenciadas de reestructuración territorial insertas en los sistemas metropolitanos, con incidencias precisas en las dinámicas del uso del suelo y la continua transformación de los patrones de cultivo (Ávila, 2024; 2016).

Los *Sistemas Alimentarios Ciudad-Región*, (SACR), se establecen a partir de los vínculos entre los centros urbanos y su área rural circundante, donde se promuevan cadenas de abasto alimentarias más cortas y se establecen empresas alimentarias regionales, al tiempo que se crean y fortalecen las estructuras de gobernanza participativa. La función de los SACR consiste en mejorar la óptima vinculación de las áreas urbanas y rurales. (López-García, et al., 2020; Jennings et al., 2015; Tornaghi & Dehaene, 2019).

Hay dos tipos principales de SACR. El primero, don-

social enterprises, linked to the creation of sustainable food communities. (Sanz & Yacamán, 2022).

By linking up with food *hubs*, they strengthen the establishment of competitive strategies for small family farms and the distribution of their products in small shops, schools, hospitals and restaurants (Sanz & Yacamán, 2022). They constitute organizational innovations embedded in conventional market dynamics which reinforce structural gaps in agri-food markets between small producers and individual, family, or large consumers (Berti & Mulligan, 2016). The objective of *hubs* is to create and consolidate differentiated modes of production, marketing, and consumption, as well as to strengthen environmental and social values and principles in a system dominated by economic objectives.¹(Cleveland, et al., 2014).

Another term associated with this modality is cooperative supermarkets, where customers or members assume management and various functions for the proper development of the social enterprise. These are non-profit associations that seek to improve nutrition by offering products of higher nutritional quality and fair production prices. Their origin lies in the *Park Sloop Food Coop* in Brooklyn, New York, which by 2021 had more than 12,000 members and was the most profitable supermarket m² in the United States.² In Paris, the cooperative supermarket *La Louve* was opened in Paris, which by 2021 had already developed related projects and models (small and medium-sized supermarkets) in 40 French cities.³ In Spain, the first cooperative supermarket opened its doors in Valencia in 2018 (*Som Alimentació*)⁴and in 2020 the *La Osa* supermarket was created in Madrid (<https://laosa.coop/>).⁵By 2022, there were already 10 medium and large sized cooperatives in different Spanish cities.

Shared workshops are another alternative food

de prevalecen los pequeños productores periurbanos y actores informales y de subsistencia, que producen principalmente hortalizas y especies animales menores. Otra modalidad la realiza un pequeño número de actores en las diversas etapas de la cadena de abasto, así como un sector de venta al por menor formalizado y consolidado, principalmente de alimentos procesados (Jennings et al., 2015). Son organizaciones basadas en la comunidad o en empresas sociales, vinculadas con la constitución de comunidades alimentarias sustentables (Sanz & Yacamán, 2022).

Al vincularse con los *hubs* alimentarios, fortalecen el establecimiento de estrategias competitivas para las pequeñas granjas familiares y la distribución de sus productos en pequeños comercios, escuelas, hospitales y restaurantes (Sanz & Yacamán, 2022). Constituyen innovaciones organizacionales incrustadas en la dinámica mercantil convencional, que refuerzan los vacíos estructurales en los mercados agroalimentarios, entre los pequeños productores y los consumidores individuales, familiares o grandes consumidores (Berti & Mulligan, 2016). El objetivo de los *hubs* consiste en crear y consolidar modalidades diferenciadas de producción, comercialización y consumo, así como el fortalecimiento de los valores y principios ambientales y sociales, en un sistema dominado por los objetivos económicos¹ (Cleveland, et al., 2014).

Otra expresión asociada con esta modalidad son los supermercados cooperativos, donde los clientes o asociados asumen la gestión y las diversas funciones para el buen desarrollo de la empresa social. Son asociaciones sin ánimo de lucro, que procuran el mejoramiento de la alimentación, mediante el ofertamiento de productos de mayor calidad nutricional y con precios de producción justos. Su origen está en la cooperativa *Park Sloop Food Coop*, en Brooklyn, Nueva York, que para el año 2021 contaba con más de 12 000 socios y era el supermercado con mayor rentabilidad por m² en Estados Unidos². En París se abrió el supermercado cooperativo *La Louve*, en París, que para el

¹Major companies leading the conventional food distribution industry (Sysco, Walmart) have supported campaigns to boost the consumption of local products, due to the increase in demand and consumption (Cleveland et al., 2014). Since the 2010s, the existence of agricultural parks on the outskirts of Madrid has stimulated local agricultural production (Sanz & Yacamán, 2022).

²<http://www.grubstreet.com/2018/04/history-of-the-park-sloop-food-coop.html>

³https://www.wedemain.fr/Essor-des-supermarches-cooperatifs-une-carte-pour-les-localiser-dans-toute-la-France_a4036.html

⁴<https://somalimentacio.com/>

⁵<https://laosa.coop/>

¹Grandes compañías líderes en el comercio de la distribución alimentaria convencional (Sysco, Walmart), han respaldado campañas para impulsar el consumo de productos locales, debido al incremento en la demanda y el consumo (Cleveland et al., 2014). Desde la década de 2010, la existencia de los parques agrarios en la periferia de Madrid estimuló la producción agrícola de proximidad (Sanz & Yacamán, 2022).

² <http://www.grubstreet.com/2018/04/history-of-the-park-sloop-food-coop.html>

model, based on collective dynamics launched by sustainable food producers, some of whom are agroecological (Sanz et al, 2018; Micheline, J., & Abad, L., 2018). This approach is a way of preparing meat, dairy, and vegetable products in order to place them on the market under a health registration. They mobilize agricultural and livestock surpluses, prioritizing local food production and promoting sustainable and artisanal products (Conselleria de Sanitat Universal i Salut Pública, 2018). This approach has been developed in municipalities in some Spanish autonomous regions (Valencia, Aragon, Catalonia). Their existence is based on experiences developed in France, such as the *Ateliers de Transformation Collectifs (ATC)* network.⁶

The aforementioned models (food hubs, cooperative supermarkets, shared workshops) are essential for meeting the food needs of large sectors of the population in the peripheries and their rural surroundings, especially those living in extreme poverty who are not always covered by state food security policies (Sanz & Yacamán, 2022). In Latin America, this practice has found a wide space for spread of community kitchens, which serve and satisfy access to food among their beneficiary population, giving priority to the most affected or vulnerable groups.

The agrarian park as an innovative territorial figure

Agrarian parks have been established as a territorial entities for organizing and managing agricultural space, where food production and landscape protection become means of promoting agreement among the various stakeholders involved which constitute them, in close interaction with local public authorities, in order to protect and manage the identity values of the territory (Mata & Yacamán, 2015). Agrarian parks are part of the context of contemporary forms of metropolitanization and are generally included in urban planning schemes. The existence of agrarian parks is part of *the post-metropolitanism phenomenon* identified by Friedmann (2016) as one of the main changes and forms taking shape in peri-urban areas.

⁶ATCs are structures managed by groups of farmers who share their resources and equipment to process their products and market them through local food chains. They contribute to building more sustainable territorial food systems (Thomas, 2016).

año 2021 ya había desarrollado proyectos y modalidades vinculadas (pequeños y medianos supermercados) en 40 ciudades francesas³. En España, abrió sus puertas en 2018 el primer supermercado cooperativo en Valencia, (*Som Alimentació*)⁴ y en 2020 se creó el supermercado *La Osa* en Madrid (<https://laosa.coop/>)⁵. Para el año 2022 se contaba ya con 10 modalidades cooperativas, de tamaño mediano y grande en diferentes ciudades españolas.

En el ámbito de los modelos alimentarios alternativos se ubican los *obradores compartidos*, a partir de dinámicas colectivas puestas en marcha por productores de alimentos sustentables, algunos de ellos de base agroecológica (Sanz et al, 2018; Micheline, J., & Abad, L., 2018). Consiste en una modalidad para preparar productos cárnicos, lácteos y vegetales a fin de colocarlos en el mercado bajo un registro sanitario. Movilizan los excedentes agrícolas y ganaderos, priorizando la producción alimentaria de proximidad, impulsando los productos sustentables y artesanales (Conselleria de Sanitat Universal i Salut Pública, 2018). Esta expresión se ha desarrollado en ayuntamientos de algunas autonomías españolas (Valencia, Aragón, Cataluña). Fundamentan su existencia en experiencias desarrolladas en Francia, como la red de *Ateliers de Transformation Collectifs (ATC)*⁶.

Las modalidades señaladas (hubs alimentarios, supermercados cooperativos, obradores compartidos), constituyen un sustento primordial para atender requerimientos alimentarios para amplios sectores de población de las periferias y su entorno rural, sobre todo, los que se ubican en los estratos de pobreza extrema y que no siempre son cubiertos por las políticas estatales de seguridad alimentaria (Sanz & Yacamán, 2022). En América Latina, esta práctica ha encontrado un amplio espacio para la difusión de los comedores comunitarios, que atienden y satisfacen el acceso a la

³https://www.wedemain.fr/Essor-des-supermarches-cooperatifs-une-carte-pour-les-localiser-dans-toute-la-France_a4036.html

⁴<https://somalimentacio.com/>

⁵<https://laosa.cop/>

⁶Los ATC son estructuras gestionadas por grupos de agricultores que comparten sus medios y equipamientos para la transformación de sus productos y para comercializarlos a través de circuitos alimentarios de proximidad. Contribuyen a la construcción de sistemas alimentarios territoriales más sustentables (Thomas, 2016).

The ideas underlying agrarian parks do not arise strictly as theories, but rather as an evolutionary conceptual development based on various disciplines that analyze the dynamics that shape landscapes and natural spaces, especially those that interact with urban environments. From disciplinary fields that converge in urban planning and architecture, approaches have been revived that highlight the diverse links between the countryside and the city. Since the 19th century, the growing importance of agriculture and nature had already been considered in the General Theory of Urbanization. Ebenezer Howard's early 20th-century approaches to the garden city and *greenbelts* had a significant influence, grounding French architect Le Corbusier's ideas on the city model and green spaces (Mata & Yacamán, 2015). In 1965, Françoise Choay gave a central place to the coexistence of natural spaces and cities in her "utopias and realities of urbanism." Later, in 2010, French urban planner François Dugeny analyzed the links between the countryside and the city, through the approach of the *urban front*, in order to analyze the relationships and coherences between urban forms and open spaces (agricultural, forest, natural) that guarantee their environmental, social and economic functionality (Folgado, 2020).

There is a significant historical background regarding experiences and projects involving the establishment of agrarian parks, in terms of territorial figures that seek to reconcile the maintenance and management of agricultural spaces threatened by urban growth. The most representative examples of agrarian parks are mainly found in southern Europe, the result of intense interaction between diverse institutions and stakeholders: producer associations, agricultural unions, political and business organizations, among others. The most recognized examples of the establishment of agrarian parks and urban spaces for leisure and sustainability have been developed in the south of Milan, Montpellier Agglo (Soulard et al., 2018), and the Baix Llobregat park in Barcelona (Paül, 2015, Zazo, 2010), as well as the Saclay plain territorial complex in the Paris region (Vidal & Fleury, 2008). In Spain, the experiences have also been carried out in Fuenlabrada and Rivas-Vaciamadrid (Yacamán, 2018a; Mata & Yacamán, 2015), Sabadell (Catalonia), and the HortaValenciana (Folgado, 2020).

alimentación entre su población beneficiaria, con prioridad hacia los grupos más afectados o vulnerables.

El parque agrario como figura territorial innovadora.

El parque agrario se ha constituido como figura territorial para ordenar y gestionar el espacio agrario, donde la producción de alimentos y la protección paisajística se convierten en medios para promover la concertación entre los diversos agentes que lo construyen, en estrecha interacción con los poderes públicos locales, a fin de proteger y gestionar los valores identitarios del territorio (Mata & Yacamán, 2015). Los parques agrarios se inscriben en el contexto de las modalidades contemporáneas de la metropolización y, por lo general, se incluye en los planes de ordenamiento urbano. La existencia de los parques agrarios son parte del *postmetropolitano* señalado por Friedmann (2016), como uno de los principales cambios y modalidades que se conforman en el periurbano.

Las ideas que fundamentan a los parques agrarios no surgen propiamente como teorías, sino como un desarrollo conceptual evolutivo, a partir de diversas disciplinas que analizan las dinámicas que delimitan los paisajes y los espacios naturales, sobre todo, los que interactúan con los entornos urbanos. Desde ámbitos disciplinarios que convergen en el urbanismo y la arquitectura, se han retomado planteamientos donde se han destacado las diversas vinculaciones entre campo y ciudad. Desde el siglo XIX, ya se había considerado la importancia creciente de la agricultura y la naturaleza en la Teoría General de la Urbanización. Una importante influencia tuvo los planteamientos de Ebenezer Howard al inicio del siglo XX sobre la ciudad-jardín y los *greenbelts*, que fundamentaron las ideas del arquitecto francés Le Corbusier sobre el modelo de ciudad y los espacios verdes (Mata & Yacamán, 2015). En 1965 Françoise Choay, otorgó un lugar central a la convivencia de los espacios naturales y las urbes en sus "utopías y realidades del urbanismo". Posteriormente, en 2010, el urbanista francés François Dugeny analizó las vinculaciones campo-ciudad, a través del planteamiento del *frente urbano*, a fin de analizar las relaciones y coherencias entre las formas urbanas y los espacios abiertos (agrícolas, forestales, naturales) que garantice su funcionalidad ambiental, social y económica (Folgado, 2020).

In Tunisia, in Greater Sousse, the main urban and tourist agglomeration of the Tunisian Sahel, the concept of the agrarian park was used in peri-urban agricultural areas threatened by accelerated urban expansion (Hamrita, et al., 2021).

In Latin America, some projects have been developed, primarily in Argentina, in regions with significant food production, as a response to the mechanisms and effects of intense urbanization. The creation of agricultural parks has been proposed in Santa Fe and Córdoba, where there has been a sustained decline in cultivated land⁷, a decline in the diversification of production, and the abandonment of productive units by rural workers (Mantovani, et al, 2020).

In other countries, the concept of the (regional) agrarian park has been used such as the Golden Horseshoe Food and Agriculture Plan in the Greater Toronto Area in Canada and in the case of Belo Horizonte in Brazil (Mantovani et al., 2020). Other projects include the Agricultural Structures Development Plan in Vienna and rural land use planning projects under urban pressure. Other forms were implemented in the Römerstadt region of Frankfurt (Simón et al., 2012). In these areas, important agricultural and landscape conservation zones have been established around the main cities, which have functioned as important food reservoirs in their metropolitan areas (Fleury & Donadieu, 1997).

In short, the agrarian park is an innovative way to address the occupation and transformation of natural spaces in the face of growing metropolitanization, which disrupts the dynamics of peri-urban agrarian areas. It is a modality through which agrarian spaces located in metropolitan hierarchical areas are organized and managed, linked to their dynamics, while strengthening the presence and functionality of farms dedicated to the production of food and raw materials (Yacamán & Zazo, 2015; Mata & Yacamán, 2015; Zazo, 2010).

Agricultural practices in the context of Spanish cities and metropolises

Spanish agricultural parks are closely linked to the dynamics of alternative food groups. Consumer groups

Existen importantes antecedentes históricos acerca de experiencias y proyectos en el establecimiento de los parques agrarios, en términos de figuras territoriales que pretenden conciliar el mantenimiento y la gestión de los espacios agrarios amenazados por el crecimiento urbano. Los referentes más representativos de los parques agrarios se encuentran principalmente en el sur de Europa, producto de una intensa interacción de instituciones y actores diversos: asociaciones de productores, sindicatos agrarios, organismos políticos y empresariales, entre otros. Los ejemplos más reconocidos en el establecimiento de los parques agrarios y los espacios urbanos para el ocio y la sustentabilidad se han desarrollado en el Sur de Milán, Montpellier Agglo (Soulard et al, 2018) y el parque de Baix Llobregat en Barcelona (Paül, 2015, Zazo, 2010), así como el complejo territorial de la planicie de Saclay en la región parisina (Vidal & Fleury, 2008). En España también han sido importantes las experiencias en Fuenlabrada y Rivas-Vaciamadrid (Yacamán, 2018a; Mata & Yacamán, 2015), Sabadell (Cataluña), la Horta Valenciana (Folgado, 2020).

En Túnez, en el Gran Sousse, la principal aglomeración urbana y turística del Sahel tunecino, se utilizó la figura del parque agrario en zonas de agricultura periurbana amenazadas por una expansión urbana acelerada (Hamrita, et al., 2021).

En América Latina, se han desarrollado algunos proyectos, fundamentalmente en Argentina, en regiones de una importante producción alimentaria, como oposición a los mecanismos y efectos de una urbanización intensa. Se ha propuesto la creación de parques agrarios en Santa Fé y Córdoba, donde se observa una sostenida disminución de su superficie cultivada⁷, la merma en la diversificación de su producción y el abandono de las unidades productivas por parte del trabajador rural (Mantovani, et al, 2020).

En otros países, se ha recurrido a la figura del parque agrario (regional), en el Plan de Alimentos y Agricultura del Golden Horseshoe en la Región del Gran Toronto, en Canadá o el caso de Belo Horizonte en Brasil (Mantovani, et al., 2020). También en otros proyectos como el Plan de Desarrollo de Estructuras Agrícolas en Viena

⁷The metropolitan area of Santa Fe lost 45% of the surface area dedicated to fruit and vegetable production between 2001 and 2008, while in the period 2001-2012 the reduction reached more than 60% (INTA, 2013, cited in Mantovani, et al, 2020).

⁷El área metropolitana de Santa Fé perdió el 45 % de la superficie dedicada a la producción frutihortícola entre los años 2001 y 2008, mientras que en el período 2001-2012 la reducción alcanzó más de un 60 % (INTA, 2013, citado en Mantovani, et al, 2020).

in Spain emerged in the 1980s, and since the beginning of the new century, agroecological groups have been formed in urban and peripheral settings in large cities. In 2015, under the influence of anti-globalization movements, the creation of alternative production and consumption spaces was strengthened as a response to predatory food practices with negative environmental impacts (Sanz et al., 2018). In this context, a series of agricultural park projects (current or abandoned) have been set up in several locations across Spain: Vega de Granada (Granada); Motril (Granada); Vegas del Narcea (Asturias; Guadalhorce Valley (Málaga); Carrizales (Elche); Villena (Alicante); Rivas (Madrid); Fuenlabrada (Madrid); El Rincón (Santa Cruz de Tenerife); Bajo Llobregat (Barcelona); Sabadell and Gallecs, linked to Baix Llobregat (Yacamán & Zazo, 2015).

In Madrid, the concept of agrarian park has been established as a response to urban expansion trends and dynamics and their effects on natural landscapes and local agrarian cultures in peri-urban areas. Two well-known examples are located in Fuenlabrada and Rivas-Vaciamadrid, towns in the southern and south-eastern metropolitan area of Madrid (Figure 1). Before the emergence of agricultural parks in Madrid, experiences were mainly focused on the urban environment of the capital and its periphery, through the action of consumer groups in Lavapiés and Vallecas, the former being a Madrid neighborhood of immigrants and the later having a long tradition of labor and citizen movements (Michellini & Abad, 2018).

The Fuenlabrada Agrarian Park

As a measure aimed at harmonizing the growing metropolitan expansion into natural spaces in the Madrid region, the Fuenlabrada Agrarian Park was created in 2013, covering an area of 800 hectares consisting of irrigated and dry land plots. This space is intended to ensure the continuity of agricultural use in the southern part of the metropolitan urban area, as well as to safeguard the agricultural heritage in the context of the peri-urban space of the Madrid Metropolitan Region⁸. The strengthening of local agriculture (vegetable production) based on agroecological practi-

y los proyectos de ordenamiento de espacios rurales, bajo presión urbana. Otras formas se implementaron en la región del Römerstadt en Frankfurt (Simón, et al., 2012). En esos espacios, se han establecido importantes zonas agrícolas y de conservación paisajística, en torno a sus principales ciudades, que han funcionado como importantes reservorios alimentarios en sus ámbitos metropolitanos (Fleury & Donadieu, 1997).

En resumen, la figura del parque agrario es innovadora para hacer frente a la ocupación y transformación de espacios naturales en la metropolización creciente, que desarticula la dinámica de los espacios agrarios periurbanos. Constituye una modalidad a través de la cual se ordenan y gestionan los espacios agrarios localizados en los ámbitos jerárquicos metropolitanos, vinculados con su dinámica, al tiempo que fortalece la presencia y funcionalidad de las fincas abocadas a la producción de alimentos y materias primas (Yacamán & Zazo, 2015; Mata & Yacamán, 2015; Zazo, 2010).

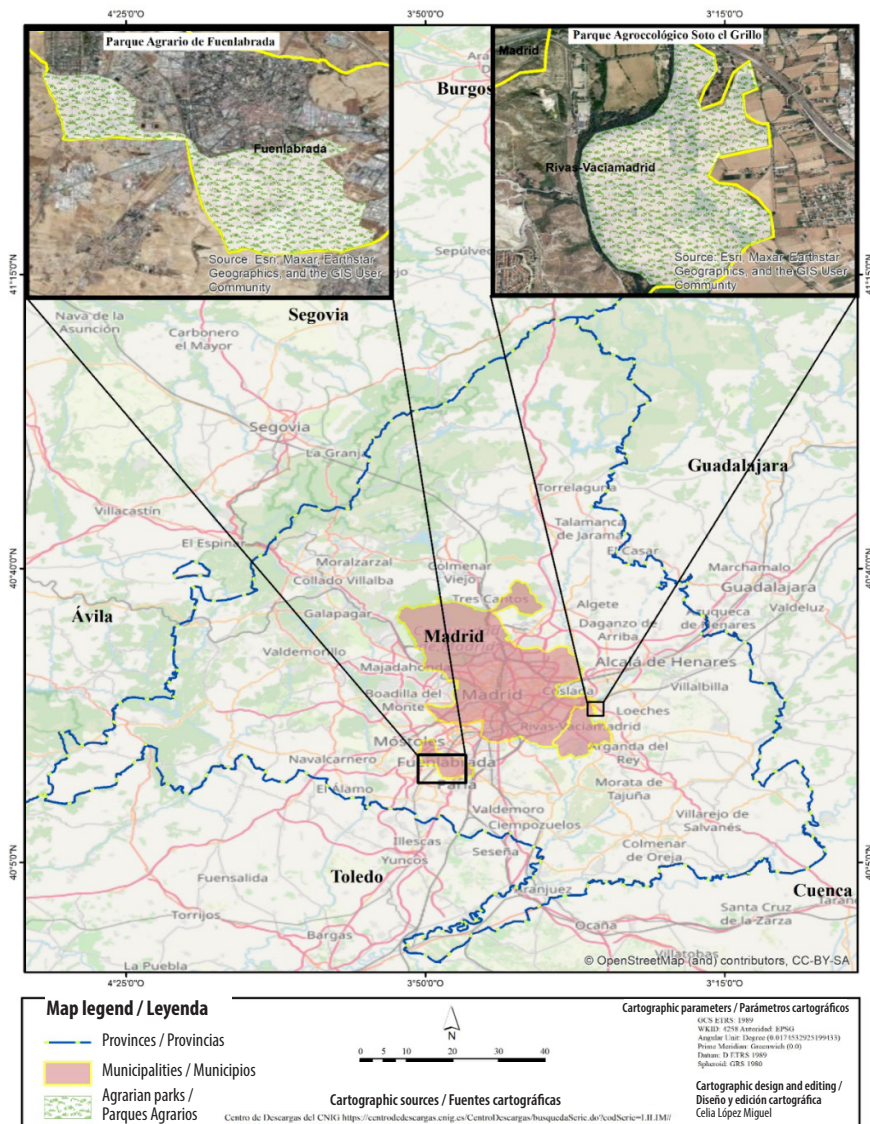
Las prácticas agrícolas en el contexto de las urbes y metrópolis españolas

Los parques agrarios españoles están muy vinculados con la dinámica de los grupos alimentarios alternativos. Los grupos de consumo en España surgieron en la década de 1980 y a partir del nuevo siglo se conformaron los grupos agroecológicos en entornos urbanos y periféricos en las grandes ciudades. En 2015, bajo el influjo de los movimientos antiglobalización, se fortaleció la creación de espacios de producción y consumo alternativo, como respuesta a las modalidades alimentarias depredadoras y con impactos negativos al ambiente. (Sanz, et al., 2018). En este contexto se han constituido una serie de proyectos de parques agrarios (vigentes o trancos), en diversos rumbos de la geografía española: Vega de Granada (Granada) Motril (Granada); Vegas del Narcea (Asturias; Valle del Guadalhorce (Málaga); Carrizales (Elche); Villena (Alicante); Rivas (Madrid); Fuenlabrada (Madrid); El Rincón (Santa Cruz de Tenerife); Bajo Llobregat (Barcelona); Sabadell y Gallecs, vinculados al Baix Llobregat (Yacamán & Zazo, 2015).

En Madrid, se ha instaurado la figura del parque agrario como un posicionamiento ante las tendencias y dinámicas de la expansión urbana y los efectos en los paisajes naturales y las culturas agrarias locales en los espacios periurbanos. Dos casos reconocidos se ubi-

⁸Information available on the agricultural park website:
<https://parqueagrariofuenlabrada.es/parque-agrario/presentacion/> ;
<https://parqueagrariofuenlabrada.es/parque-agrario/objetivos/>

Figure 1. Agricultural parks in the city-region of Madrid.
Figura 1. Parques Agrarios en la ciudad-región de Madrid.



Source: CNIG Download Center. <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/busquedaSerie.do?codSerie=LILIM#>

Fuente: Centro de Descargas del CNIG. <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/busquedaSerie.do?codSerie=LILIM#>

es and the promotion of direct distribution through short channels that meet the needs of socially conscious and responsible consumers.⁹ Horticultural production in the Park is mainly conventional, but good

can en Fuenlabrada y en Rivas-Vaciamadrid, localidades del ámbito metropolitano del Sur y Sureste en la región madrileña (Figura 1). Antes del surgimiento de los parques agrarios en Madrid, las experiencias se centraban fundamentalmente en el entorno urbano de la capital y su periferia, mediante la acción de grupos de consumo en Lavapiés y en Vallecas, barrios madrileños de inmigrantes el primero, y de gran tradición de movimientos obreros y ciudadanos (Michellini & Abad, 2018).

⁹According to a general estimate, 3,500 boxes of vegetables (averaging 16 kg) were distributed to soup kitchens and vulnerable families in Fuenlabrada in 2022. The average production is estimated at 56,000 kg of various vegetables (<https://parqueagrariofuenlabrada.es/wp-content/uploads/2023/07/Ensayos-Huerta-buenas-practicas-2022-Fuenlabrada-heliconia.pdf>).

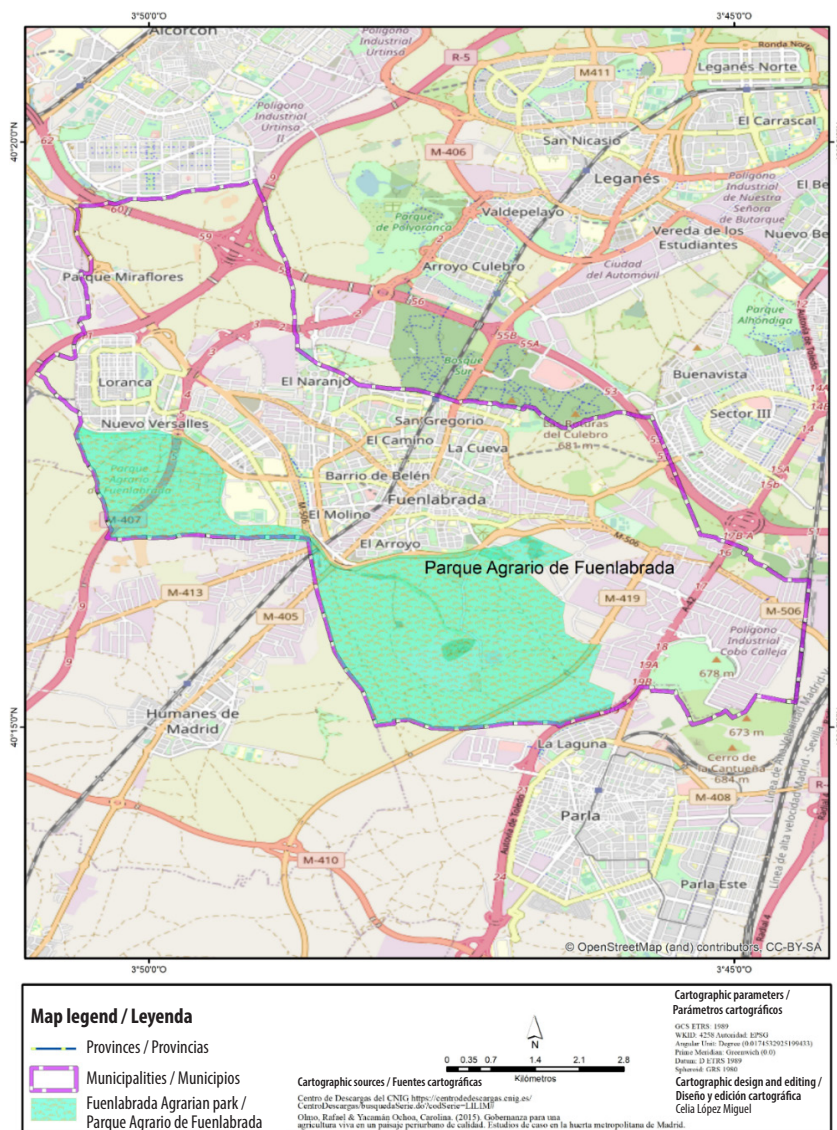
practices are encouraged, such as improving irrigation water quality and the modernization of irrigation systems, as well as the efficient management of agricultural waste.

Efforts have been made to strengthen the local fabric around peri-urban agricultural activity and its landscape, promoting specific programs that allow for the development of the economic, environmental, and sociocultural potential of the territory and its

El parque agrario de Fuenlabrada

Como una medida tendiente a compatibilizar la creciente expansión metropolitana sobre los espacios naturales en la región de Madrid, en 2013 se creó el Parque Agrario de Fuenlabrada, una superficie de 800 hectáreas compuestas por parcelas de regadío y de secano. Es un espacio destinado a garantizar la continuidad del uso agrario en la zona sur del ámbito urbano metropolitano, además de salvaguardar el patrimonio territorial

Figure 2. Fuenlabrada Agricultural park.
Figura 2. Parque Agrario de Fuenlabrada.



Source: CNIG Download center

<https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/busquedaSerie.do?codSerie=LILIM#>

Fuente: Centro de Descargas del CNIG

<https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/busquedaSerie.do?codSerie=LILIM#>

stakeholders from a multifunctional and agroecological perspective. In the park's short existence, planning and management tools have been developed based on citizen participation, taking into account the needs and proposals of farmers, as well as the area's social stakeholders. The park's promotion is the responsibility of the Department of Sustainability of the Fuenlabrada City Council, and the technical management is under the responsibility of Heliconia SC (Figure 2).

Regarding the generational renewal of the agricultural sector, Fuenlabrada promotes training and entrepreneurship initiatives aimed at young people and women in agriculture who are interested in farming as an alternative source of employment within region¹⁰. The promotion of social economy entities and sustainable production is encouraged. In short, promoting governance and stakeholder participation plays a central role in the dynamics of the park, with the aim of encouraging the participation of all sectors interested in the territorial project.

Soto del Grillo agrarian park, municipality of Rivas Vaciamadrid

This is one of the initiatives implemented in the peri-urban area of the city-region of Madrid, as an alternative agri-food model based on the promotion of agroecology and responsible consumption. The Soto el Grillo Agroecological Park was established in 2012. It is a project developed by the Rivas-Vaciamadrid City Council on 72 hectares of pasture and arable land. A 56-hectare bank of arable land has been established on this area, divided into 26 hectares of irrigated crops and 30 hectares valley (Figure 3).

In 2022 there were 8 productive initiatives cultivating 25 hectares of irrigated land and 10 hectares of dry land, operated by producers with different goals and visions for food production: young producers with higher education; retired producers with occupational agroecological or recreational interests, due to their interest in agroecological production or native crops; and zero-mile farming under a business model.¹¹ Sustainable pro-

agrario en el contexto del espacio periurbano de la región Metropolitana de Madrid⁸. Se ha impulsado el fortalecimiento de una agricultura de proximidad (producción de hortalizas) basada en prácticas agroecológicas y la promoción de la distribución directa a través de canales cortos, que satisfagan las necesidades de un consumidor solidario y responsable⁹. La producción hortícola en el Parque es fundamentalmente convencional, pero se alienta la realización de buenas prácticas como el mejoramiento de la calidad del agua de riego y la modernización de los regadíos, así como en la gestión eficiente de los residuos agrarios.

Se ha intentado fortalecer el tejido local en torno a la actividad agraria periurbana y su paisaje, impulsando programas específicos que permitan desarrollar el potencial económico, ambiental y sociocultural del territorio y de sus agentes desde un enfoque multifuncional y agroecológico. En la corta existencia del parque, se han desarrollado herramientas de planificación y gestión basadas en la participación ciudadana, teniendo en cuenta las necesidades y propuestas de los agricultores, como también de los agentes sociales del territorio. La promoción del parque es responsabilidad de la Concejalía de Sostenibilidad del Ayuntamiento de Fuenlabrada y la gestión técnica está a cargo de la empresa Heliconia SC (Figura 2).

En torno a la renovación generacional del sector agrario, en Fuenlabrada se promueven iniciativas de formación y emprendimiento destinadas a jóvenes y mujeres en la actividad agraria, interesados (as) en la agricultura como vía alternativa de empleo dentro de la región¹⁰. Se favorece la promoción de las entidades de la economía social y la producción sustentable. En resumen, la promoción de la gobernanza y la participación de actores tiene un rol central en la dinámica del parque, a fin de alentar la participación de todos los sectores interesados en el proyecto territorial.

⁸Información disponible en el sitio web del parque agrario: <https://parqueagrariofuenlabrada.es/parque-agrario/presentacion/>; <https://parqueagrariofuenlabrada.es/parque-agrario/objetivos/>

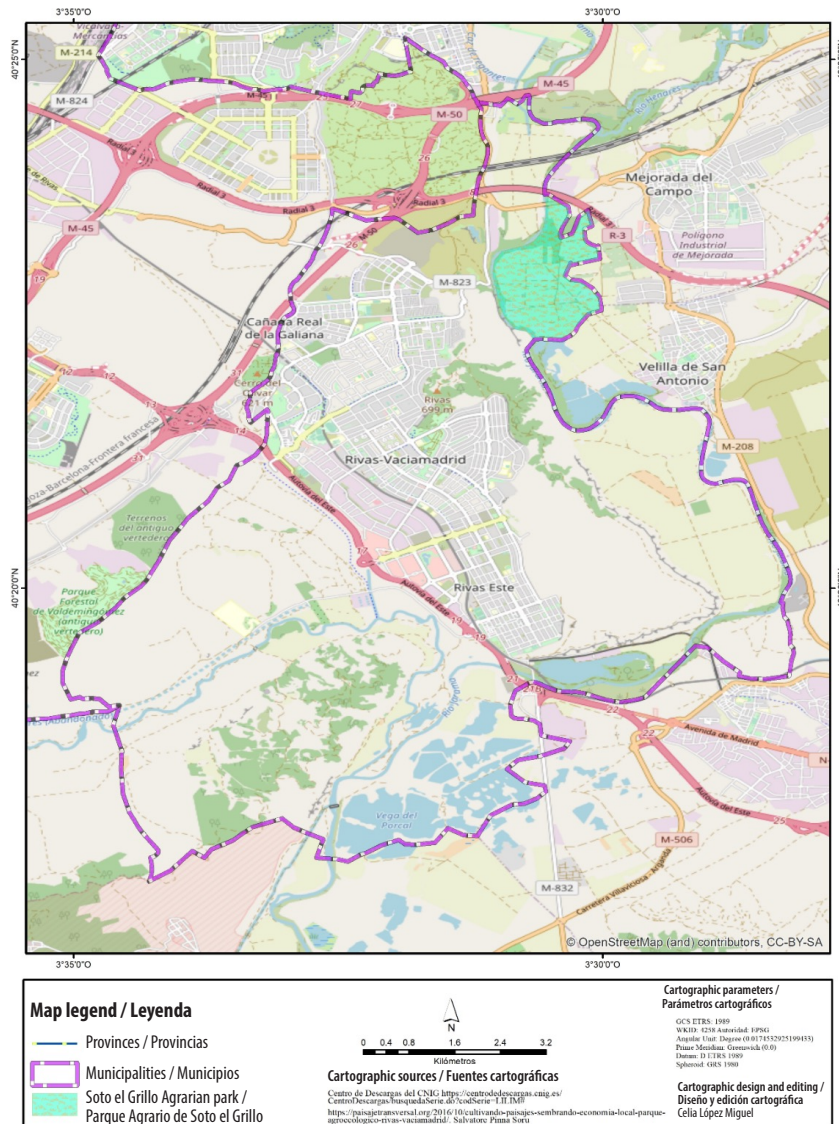
⁹ Mediante un cálculo general en el año 2022, en ese año se distribuyeron 3 500 cajas de hortalizas (con una media de 16 kg.) a comedores sociales y familias vulnerables de Fuenlabrada. Se calcula una media de producción de 56 000 kg de hortalizas diversas (<https://parqueagrariofuenlabrada.es/wp-content/uploads/2023/07/Ensayos-Huerta-buenas-practicas-2022-Fuenlabrada-heliconia.pdf>).

¹⁰En el organismo de gestión del parque, se reconoce el cierre paulatino de las explotaciones hortícolas por jubilaciones o por su baja rentabilidad.

¹⁰The park's management body acknowledges the gradual closure of horticultural farms due to retirement or low profitability.

¹¹The owner of Rico Natura points out that he does not use the ecological seal of the agricultural park, but rather refers to the status of a local producer, 0 kilometers, a status endorsed by the Madrid Institute for

Figure 3. "Soto el Grillo" agroecological park.
Figura 3. Parque agroecológico "Soto el Grillo".



Source: CNIG Download center [https://centrodedescargas.cnig.es/ CentroDescargas/busquedaSerie.do?codSerie=LILIM#](https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/busquedaSerie.do?codSerie=LILIM#)

Fuente: Centro de Descargas del CNIG [https://centrodedescargas.cnig.es/ CentroDescargas/busquedaSerie.do?codSerie=LILIM#](https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/busquedaSerie.do?codSerie=LILIM#)

duction of locally sourced meat (non-agroecological) is also carried out.

The park's creation project, based on a social ecology approach, was promoted by the Department of Ecological Transition at the Rivas Vaciamadrid City Council. It promoted local agroecological agriculture and the strengthening of consumer groups in peri-urban areas of the Madrid city region. It was also consid-

Research, Rural Development, Agriculture and Food (IMIDRA) and certified by the Madrid Agroecological Committee.

Parque agrario Soto del Grillo, municipio de Rivas Vaciamadrid

Es una de las iniciativas puestas en práctica en el ámbito periurbano de la ciudad-región de Madrid, como una modalidad agroalimentaria alternativa basada en la promoción de la agroecología y el consumo responsable. El Parque Agroecológico Soto el Grillo se instauró durante el año 2012. Se trata de un proyecto desarrollado en el Ayuntamiento de Rivas-Vaciamadrid, en 72 hectáreas de pastos y tierras arables. En dicha

ered that this project would be involved in larger scale actions, through which it was proposed to establish solutios to mitigate urban developmen, as well as to promote the landscape conservation of the Vega del río Jarama and the surroundings of the Southeast Regional Park. (Ayuntamiento Rivas Vaciamadrid, 2022).

The producers of the Soto el Grillo agricultural park and their agricultural practices in metropolitan areas¹²

The producers who initiated the project are primarily *neo-rural*. Most come from urban areas, although they have some rural background in previous generations (parents, grandparents). Most have undertaken the activity as an ethical stance on healthy eating and in search of sustainable alternative methods for food production. On the one hand, retired citizens form associations where producers grow crops out of interest in environmental conservation, but above all, for recreational activities. Other participants in agroecological activities are young people with higher education, as well as people who work in different urban occupations but have a keen interest in agroecology, either as environmental activists or as promoters of healthy eating and alternative production. Others also engage in agroecological practices with a business-oriented bias. Table 1 provides an overview of the general characteristics of the producers.

One of the central aspects of the **park governance** has to do with effective interactions between public and private stakeholders involved in the territorial dynamics, at the level of direct links between council members and producers. Regarding the multifunctional patterns generated in the park, various agents with different strategies and positions intervene in the construction of governance. Given the short history of the agricultural park, the guidelines originate primarily from the city councils departments involved in the establishing this territorial entity. The park's

¹²During November 2022, visits were made to the area surrounding the Soto del Grillo agroecological park, and semi-structured interviews were conducted with seven of the eight producers active at the time, as well as with the Heliconia technician in charge of park management. This provided insight into the positions, perceptions, and expectations of the stakeholders involved in this territorial expression. The interviews addressed key issues in the park's territorial dynamics: socio-productive dynamics, governance, territorial management, and agri-food sustainability.

superficie se ha establecido un banco de tierras cultivables de 56 hectáreas, repartidas en 26 hectáreas de cultivos de regadío y 30 hectáreas de secano en la vega del río Jarama (Figura 3).

En 2022 se contaba con 8 iniciativas productivas que cultivaban 25 hectáreas de regadío y 10 hectáreas de secano, explotadas por productores con diversas finalidades y visiones sobre la producción de alimentos: productores jóvenes con formación universitaria; productores jubilados con interés ocupacional, de promoción agroecológica o lúdica, por interés en la producción agroecológica o de cultivos autóctonos y de kilómetro Cero bajo modalidad empresarial¹¹. Se realiza también la producción sostenible de carne (no agroecológica), de origen local.

El proyecto de creación del parque, bajo el enfoque de la Ecología Social, se impulsó desde la concejalía de Transición Ecológica en el ayuntamiento de Rivas Vaciamadrid. Se promovió la agricultura agroecológica de proximidad y el fortalecimiento de los grupos de consumo en los espacios periurbanos de la región-ciudad de Madrid. Se consideraba, además, que dicho proyecto se involucraría en acciones de mayor envergadura, a través de las que se planteaba establecer soluciones de amortiguamiento al desarrollo urbano, así como impulsar la conservación paisajística de la Vega del río Jarama y el entorno del parque regional Sureste (Ayuntamiento Rivas Vaciamadrid, 2022).

Los productores del parque agrario Soto el Grillo y sus prácticas agrícolas en los espacios metropolitanos¹².

Los productores que iniciaron el proyecto son fundamentalmente *neorrurales*. La mayoría provienen del medio urbano, si bien tienen algún antecedente ru-

¹¹ El propietario de la empresa Rico Natura señala que no utiliza el sello ecológico del parque agrario sino más bien, alude al carácter de productor local, 0 kilómetros, cuestión avalada por el Instituto Madrileño de Investigación, Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario (IMIDRA) y certificado por el Comité agroecológico de Madrid.

¹²Durante el mes de noviembre de 2022 se realizaron visitas al entorno del parque agroecológico Soto del Grillo y se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas con siete de los ocho productores activos en ese momento, así como también con el técnico de Heliconia, encargado de la gestión del parque. Se pudieron así conocer posturas, percepciones y expectativas de los actores que participan en esta expresión territorial. Las entrevistas abordaron aspectos sobre temas centrales en la dinámica territorial del parque: dinámica socioproductiva, Gobernanza, Gestión Territorial y Sustentabilidad Agroalimentaria.

Table 1. Characterization of producers of the Soto el Grillo agroecological park.
Cuadro 1. Caracterización de productores del parque agroecológico Soto el Grillo.

	Ecodobio /	Vega Fértil	Erosccha	Semillando Sotillo	Asociaciones La Calendula; Ataraxia; Amor por la Tierra	Cooperativa Besana	Rico Natura	Termera Calidad Vega de Rivas
Objectives / Objetivos	Healthy eating; sustainable alternative methods / Alimentación sana; métodos alternativos sostenibles	Healthy eating; commercial agroecological production / Alimentación sana; producción comercial Agroecológica	Agroecological production; consumer groups and schools / Producción agroecológica; grupos consumo y colegios	Healthy and agroecological food; heritage safeguarding / Alimentación sana y agroecológica; salvaguarda patrimonial	Promotion of sustainable agriculture, leisure; self-consumption / Promoción agricultura sostenible; ocio; autoconsumo	Production of healthy food; sale of local organic products / Producción de alimentos sanos; venta productos ecológicos locales	Sustainable, artisanal, and traditional production; sustainable business / Producción sostenible, artesanal y tradicional; empresa sustentable	Meat production in organic pastures / Producción cárnica en praderas ecológicas.
Socio-productive aspects / Aspectos socio productivos	Farm on 2 hectares (various vegetables) / Explotación en 2 has. (hortalizas diversas)	Farm on 4 hectares (fodder and vegetables) / Explotación en 4 has. (forrajes y hortalizas)	Farm on 6 hectares (vegetables and fruit trees) / Explotación en 6 has. (Hortalizas y frutales)	Farm on 2 hectares (vegetables) / Explotación en 2 has. (hortalizas)	2 hectare vegetable farm / Explotación en 2 has. para hortalizas	2-hectare vegetable farm / Explotación en 2 has. De hortalizas	Semi-technical production; (6 hectares) / Producción semi- tecnificada; (6 has.)	Extensive meat production / Producción extensiva de carne
Marketing-distribution; short circuits / Comercialización- distribución; circuitos cortos	Distribution to organic stores and consumer groups; wholesale (Mercamadrid) / Distribución a tiendas ecológicas y grupos de consumo; mayoreo (Mercamadrid)	Distribution and sales to specialized stores and consumer groups / Distribución y venta a tiendas especializadas; grupos de consumo	Distribution to organic stores and consumer groups; wholesale (Mercamadrid); barter / Distribución a tiendas ecológicas y grupos de consumo; mayoreo (Mercamadrid); Trueque	Does not trade; self- consumption; barter with other producers / No comercializa; autoconsumo; trueque con otros productores	Supply to own store; Distribution to groups (Madrid outskirts) / Abasto a propia tienda; Distribución a grupos de (periferia Madrid);	Large volumes for direct supply to supermarkets / Grandes volúmenes para abasto directo a supermercados;	Direct sales to the consumer / Venta directa al consumidor	
Production approach / Sentido de la producción	Production and Solidarity Economy / Producción y Economía Solidaria	Production and Solidarity Economy; to consumer groups / Producción y Economía Solidaria; a grupos de consumo	Production and Solidarity Economy / Producción y Economía Solidaria	Agroecological promotion and leisure; self- consumption / Promoción agroecológica y ocio; autoconsumo	Production and solidarity economy / Producción y economía solidaria	Business production of native species / Producción empresarial de especies autóctonas	Commercial production of organic meat / Producción comercial de carne orgánica	
Personal aspects; Rural background; Age / Aspectos personales; Antecedentes rurales; Edad.	Neo-rural; family business (2 people); ages, 30-40 years; Before, unemployed / Neorrurales; empresa familiar (2 personas); edades, 30-40 años; Antes, en paro	Neo-rural (3 partners); Environmental background; age: over 50 years / Neorrurales (3 socios); Antecedentes ecologistas; edades, más de 50 años	Neo-rural (3 partners) agroecology by conviction; age: 40-50 / Neorrurales (3 socios) agroecología por convicción; edad: 40-50	Neo-rural; 45 members: unemployed and retired; ages: 50-60; some from rural areas / Neorrurales; 45 socios: en paro y jubilados; Edades: 50-60 años; algunos, origen rural	Neo-rural; (3 members) father, an ecological farmer, age: 40-50 / Neorrurales; (3 socios); padre campesino ecológico; edad, 40- 50 años	Neo-rural; 3 permanent jobs, 15 harvesting; 50 years and older; local and migrant employment / Neorrurales; 3 empleos fijo, 15 en cosecha; 50 años y más; empleo local y migrante	Native; ancestors of rural origin. Age: over 50 years / Autoctono; antepasados con origen rural. Edad, más de 50 años	
Generational change / Relevo generacional	No children / Sin hijos	It doesn't interest the children; just for leisure / No interesa a los hijos; solo x ocio	No children / Sin hijos	Children not interested Children, other professions / No interesa a los hijos; Hijos, otras profesiones	Children not interested No generational change / No interesa a los hijos	Children not interested No generational change / No interesa a los hijos No relevo generacional	Not applicable / No aplica	

Source: Author's self-made based on interviews with park producers. October-November 2022.

Fuente: Elaboración propia a partir de entrevistas a productores del parque. Octubre-Noviembre, 2022.

Table 1. Characterization of producers of the Soto el Grillo agroecological park. (cont.)
Cuadro 1. Caracterización de productores del parque agroecológico Soto el Grillo. (cont.)

	Ecodobio /	Vega Fértil	Ecosescha	Semillando Sotillo	Asociaciones La Caléndula; Ataraxia; Amor por la Tierra	Cooperativa Besana	Rico Natura	Temera Calidad Vega de Rivas
Vocational training / Formación profesional	University studies (Biology; History) / Estudios universitarios (Biología; Historia)	University studies (Agronomy) / Estudios universitarios (Agronomía)	Bachillerato (COU) / Bachillerato (COU)	3D Advertiser; Self-Taught in Agroecology / Publicitario 3D; auto didacta en Agroecología	Some, university studies (biology) / Algunos, estudios universitarios (biología)	Bachillerato (COU) / Bachillerato (COU)	Insurance agent; agronomist; filmmaker / Agente seguros; agrónomo; cineasta	Elementary education / Educación básica
Economic profitability / Rentabilidad económica	Minimal; crop losses, theft, pests / Mínima; pérdidas en cosecha, robos, plagas	Minimal; crop losses, theft, pests / Mínima; pérdidas en cosecha, robos, plagas	Unprofitable; external family support / No rentable; sustento familiar externo	None in the garden; profitable in stores and for organic products / Nula en huerto; rentable en tienda y en productos sello ecológico	None / Ninguna	Minimal; losses due to theft, pests; crop duplication; competition / Mínima; pérdidas en robos, plagas; duplicidad cultivos; competencia	Very profitable; production contracted to supermarkets / Muy rentable; producción contratada con supermercados	Profitable / Rentable
Territorial management / Gestión territorial	Heliconia technical advice / Asesoría técnica de Heliconia	Technical advice in Heliconia and the Union of Small Farmers / Asesoría técnica en Heliconia y Unión de Pequeños Agricultores	Technical advice in Heliconia and the Union of Small Farmers / Asesoría técnica en Heliconia y Unión de Pequeños Agricultores	Heliconia technical advice / Asesoría técnica de Heliconia	Heliconia technical advice (training, irrigation, workshops) / Asesoría técnica de Heliconia, (capacitación, riego, talleres)	Heliconia technical advice / Asesoría técnica de Heliconia	Consulting; Heliconia; Union of Small Farmers; IMIDRA / Asesorías; Heliconia; Unión de Pequeños Agricultores; IMIDRA	Heliconia Technical Consulting (livestock rotation) / Asesoría técnica de Heliconia (rotación ganado)
Problems in the activity / Problemas en la actividad	Labor shortage; limits on support and marketing; crop theft / Falta mano de obra; límites en apoyos y comercialización; robos cosechas	Lack of labor; limits on support and marketing; crop theft; poor irrigation; Falta de mano de obra; límites en apoyos y comercialización; robo cosechas; riego magro	Lack of skilled labor; Absence of marketing strategy / Falta de mano de obra especializada; Ausencia estrategia mercadotécnica	Insufficient commercial channels; losses due to theft and pests; lack of support for machinery / Canales comerciales insuficientes; pérdidas por robos y plagas; no apoyo para maquinaria;	Crop theft and pests; lack of surveillance; difficult access to machinery / Robos de cosechas y plagas; nula vigilancia; difícil acceso a uso de maquinaria	Lack of commercial channels; crop theft and pests; lack of access to machinery / Falta de circuitos comerciales; Robos de cosechas y plagas; no acceso a maquinaria	Theft of farm implements and pumping equipment; minor crop theft / Robos aperos de labranza y piezas de bombeo; robos no significativos cosecha;	Marketing difficulties / Dificultades para comercialización
Public aid and subsidies / Ayudas y subvenciones públicas;	European funds for young sustainable producers / Fondos europeos para jóvenes productores sustentables	European funds for young sustainable producers / Fondos europeos para jóvenes productores sustentables	None / Ninguna	None / Ninguna	None / Ninguna	None / Ninguna	Search for financing for process digitalization and robotics / Búsqueda financiación para digitalización de procesos y robótica	None / Ninguna

Source: Author's self-made based on interviews with park producers. October-November 2022.
 Fuente: Elaboración propia a partir de entrevistas a productores del parque. Octubre-Noviembre, 2022.

management company (Heliconia, SC) is also involved in organizational aspects and guidance on irrigation, the establishment of business plans, and marketing strategies.

The issue of **generational renewal** is one of the key issues for the park's survival. There is unanimous agreement among all the farmers that their children or close relatives show no interest in continuing this practice. The reasons may be varied: young people are mostly tied to the urban environment and their lives; because the activity is precarious and unprofitable; because young farmers don't have children; because of a lack of conviction or confidence in agroecology; or because official support is very limited and complicated to manage. It should be noted that farming in the park is eligible for some support from European funds, especially to promote youth work under agroecological or organic schemes.

On the other hand, agricultural parks play a very limited role in terms of their contribution to the agri-food system and, although they are considered in **urban planning**, they assume symbolic roles in the field of urban sustainability characterizations or declarations. However, it is also considered that, in the case of the Madrid city-region, agricultural parks have acted as a brake on urban speculation and changes in land use. Protection declarations (such as in the case of Southeast Regional Park) have been effective, although transport infrastructure and proximity to industrial estates and housing developments constitute a significant level of urban pressure.

In terms of **territorial management and development** to optimize local agriculture, a central aspect would be to *change scale up and strengthen logistics*, allowing for the profitability of a practice with a strong social meaning. Food production that increases the circulation of crops. Another issue would be linked to the need for solid public policies that promote the production, marketing, and consumption of agroecological products. It is therefore necessary to focus on strengthening instruments that discourage changes in land use. Likewise, it is necessary to promote technological innovations that transcend agroecological producers and that simultaneously allow for a sustainable production. To achieve this, it is very important to **strengthen ties and relationships among producers, universities and research centers.**

ral en generaciones anteriores (padres, abuelos). Los más, han emprendido la actividad como un posicionamiento ético en torno a una alimentación sana y en búsqueda de métodos alternativos sustentables para la producción alimentaria. Por una parte, ciudadanos jubilados que conforman asociaciones donde los productores cultivan por el interés en la conservación del ambiente, pero sobre todo por realizar actividades lúdicas. Otros participantes en la actividad agroecológica son gente joven con formación universitaria, así como personas que ejercen diversos oficios en el medio urbano, pero con un gran interés en la agroecología, sea como una militancia ecologista y como promotores de la alimentación sana y de la producción alternativa. Otros también realizan prácticas agroecológicas con sesgo empresarial. El Cuadro 1 ofrece una panorámica sobre las características generales de los productores.

Uno de los aspectos centrales en la **gobernanza del parque**, tiene que ver con las interacciones efectivas entre los agentes públicos y privados que intervienen en la dinámica territorial, a nivel de las vinculaciones directas entre los concejales y los productores. En cuanto a los patrones multifuncionales que se generan en el parque, intervienen diversos actores con estrategias y posiciones diferenciadas en la construcción de la gobernanza. Dada la corta trayectoria del parque agrario, las directrices parten en primera instancia, desde las concejalías del ayuntamiento, involucradas en el establecimiento de esta figura territorial. Interviene también la empresa gestora del parque (Heliconia, SC), en aspectos de corte organizativo y de orientaciones en torno al riego, el establecimiento de planes de negocios y estrategias de comercialización.

La cuestión del **relevo generacional** es uno de los puntos nodales para la subsistencia del parque. Hay un acuerdo unánime de todos los productores en que sus hijos o familiares allegados no muestran interés en continuar con esta práctica. Las razones pueden ser variadas: los jóvenes se encuentran mayormente vinculados al medio urbano y a su vida; porque la actividad es precaria y poco rentable; porque los agricultores jóvenes no tienen hijos; por la inexistencia de convicción o confianza en la agroecología; o bien, debido a que los apoyos oficiales son muy limitados y complicados para gestionarlos. Cabe señalar que la práctica de la agricultura en el parque es susceptible

Another issue related to the contributions of agroecological practices to territorial sustainability generates different positions, depending on the type of producer and the meaning they attach to their practice. Those who are involved in food production with political and ideological convictions also see it as a form of participation in the spheres of the social economy. For these agents, agroecological practices and mutual exchange with nature are central and place sustainability as something important, albeit on a secondary context. For others, the issue of sustainability constitutes a kind of cover or “green coating” for their productive practices, which are closer to conventional modalities that seek profitability as their primary objective.

Conclusions

Is the agrarian park a real alternative to the urban expansion in large cities?

In their short existence, peri-urban areas of agri-food production are under constant threat, not only by the substitution of agricultural land for residential use, but also by the establishment of urban infrastructure required by the road system and urban sanitation projects. Most of the producers interviewed expressed this view.

Another factor that guarantees the permanence of this territorial figure lies beyond the reach of the producers and agents directly linked to its dynamics. These are the political forces that govern the environment of municipalities where the parks are located. The meaning of the measures and activities that involve local actors depends on the ways in which the heritage and management of these spaces are exercised, as well as the prevailing political uses and interests.

In the case of Madrid's parks, the idea of creating a distinct environment for food production and landscape uses is linked to the stronghold of left wing political forces, which have governed the local council where the park is located since the 1990s. Legislation and decrees to safeguard land uses other than urban ones have been at the heart of their political platforms. Progress has also been made in creating spaces for the establishment of alternative food models that rescue the traditions and sense of belonging of the indigenous rural communities that still persist in the re-

de contar con algunas ayudas de fondos europeos, sobre todo para fomentar el trabajo juvenil de régimen agroecológico u orgánico.

Por otra parte, la figura de los parques agrarios tiene un rol muy limitado en cuanto a los aportes al sistema agroalimentario y pese a que se les considera en los **planes de ordenamiento urbano**, asumen roles simbólicos en el ámbito de las caracterizaciones o declaratorias de sustentabilidad urbana. Sin embargo, también se considera que, en el caso de la ciudad-región madrileña, los parques agrarios han constituido un freno a la especulación urbana y a los cambios en el uso del suelo. Las declaratorias de protección (caso del Parque Regional del Sureste) han sido efectivas, si bien, las infraestructuras del transporte y la cercanía a los polígonos industriales y los conjuntos habitacionales constituyen una alta presión urbanística.

En cuanto a la **gestión y el desarrollo territorial** para optimizar la agricultura de proximidad, un aspecto central consistiría en la realización del *cambio de escala y el fortalecimiento logístico*, que permita rentabilizar una práctica con alto sentido social. Una producción alimentaria que ponga en mayor amplitud la circulación de los cultivos. Otro tema estaría vinculado al requerimiento de políticas públicas sólidas que impulsen la producción, comercialización y consumo de productos agroecológicos. Se requiere, por tanto, incidir en el fortalecimiento de instrumentos que desalienten los cambios en el uso del suelo. Asimismo, favorecer las innovaciones tecnológicas que trasciendan a los productores agroecológicos y que al tiempo permitan el sentido sustentable de la producción. Para ello, es muy importante estrechar vínculos y **fortalecer relaciones de los productores con universidades y centros de investigación**.

Otra cuestión vinculada a los aportes de las prácticas agroecológicas a la sustentabilidad territorial genera diversas posturas, dependiendo del tipo de productor y el sentido que le otorgue a su práctica. Aquellos quienes se involucran con convicciones político-ideológicas en la producción de alimentos; también como una modalidad de participación en las esferas de la economía social. Para estos actores, las prácticas agroecológicas y el intercambio mutuo con la naturaleza son centrales y colocan a la sustentabilidad como algo importante, aunque en un plano secundario. Para otros, el tema de la sustentabilidad

gion. However, threats are present. Those involved in the daily dynamics of the park identify as a central issue the hypothetical alternation of political forces that could perceive differently the use of land in urban peripheries and the rural spaces that border them and that are identified with the modalities and interests of real estate capital. It's a real fact in the present day, especially in the city of Madrid, which is experiencing one of the most dynamic periods of urban expansion internationally.

Does the figure of the agricultural park contribute to food security? Despite differing opinions, there is consensus that the dynamics of agricultural parks in Madrid have a limited scope of influence. The use of peri-urban space and the multifunctionality that has generated its links with urban consumer groups is difficult to project beyond the local level. The Madrid park has not managed to establish the conditions for making a *leap* in terms of *scale*, due to the lack of consolidated logistics system for production, distribution, and marketing. Another obstacle is the absence of effective links to public procurement programs or subsidized or supported promotion by public authorities, as in the case of the requirement for local and proximity consumption in school breakfasts in the main metropolitan centers.¹³

Furthermore, agricultural parks contribute valuable elements in the recognition of identities and the heritage of the territory. The recovery of native species reinforces the interest in reviving local cuisine and memory in the face of the onslaught of territorial and social manifestations represented by urban dynamics. Likewise, the diversity of functions carried out in agricultural parks (leisure activities and environmental education) reinforces the meaning and significance of the multifunctionality of contemporary rural spaces.

Agricultural parks in Madrid are under constant threat from urban expansion. Efforts are therefore, being made to build solid and effective governance that fully defines the roles of participating stakeholders and social agents, which in turn allow for more effective implementation in territories with the right conditions for such development. Above all, however, the drive to produce healthy food that is harmoniously linked to the environment and has impact on

constituye una especie de cobertura o “revestimiento verde” para sus prácticas productivas, que se encuentran más próximas a las modalidades convencionales que buscan la rentabilidad como principal objetivo.

Conclusiones

¿La figura del parque agrario constituye una alternativa real a la expansión urbana de las metrópolis?

En su corta existencia, los espacios periurbanos de producción agroalimentaria se encuentran permanentemente amenazados, no solamente por la sustitución de suelo agrícola para el uso habitacional, sino también para la instauración de infraestructura urbana requerida por el sistema carretero y las obras para el saneamiento urbano. La mayoría de los productores entrevistados así lo manifestaron.

Otro elemento que garantiza la permanencia de esta figura territorial se encuentra fuera del alcance de los productores y los actores directamente vinculados con su dinámica. Se trata de las fuerzas políticas que gobiernan el entorno de los ayuntamientos donde se extienden los parques. El sentido que tomen las medidas y las actividades que involucran a los actores locales, depende de las formas en las que se ejerce la patrimonialización y la gestión de dichos espacios, así como los usos e intereses políticos prevaletentes.

En el caso de los parques madrileños, la idea de constituir un entorno diferenciado para la producción alimentaria y los usos paisajísticas, tiene que ver con el arraigo de las fuerzas políticas de izquierda, que desde la década de los años noventa gobiernan los ayuntamientos sobre los que se extiende el parque. Las legislaciones y decretos para salvaguardar los usos territoriales diferentes a los urbanos han estado en el centro de sus plataformas políticas. Y se ha avanzado también en la constitución de espacios para el establecimiento de modelos alimentarios alternativos que rescaten la tradición y el sentido de pertenencia de las comunidades rurales autóctonas que aún persisten en la región. Sin embargo, las amenazas están presentes. Quienes participan de la dinámica diaria del parque identifican como un tema central, la hipotética alternancia de fuerzas políticas que pudieran percibir de manera diferenciada los usos de las tierras en las periferias urbanas y los espacios rurales que ahí

¹³Or, increase the consumption of local agroecological products, as in the Spanish regions of Catalonia and Valencia.

local economies and their inhabitants still has a long way to go.

Its implementation in other areas, such as Latin America, still has a long way to go. The conditions of agrarian structures in different countries, characterized by fragmented ownership, make it difficult to include urban and rural spaces in urban and regional planning and programs (Ávila, 2016). The roles that government and producer organizations should play are far from constituting solid governance, which would ease the establishment of spaces linked to the production of healthy food and spaces for urban-rural interaction that strengthen sustainability and the exercise of environmental education in nearby communities. The panorama of widespread impoverishment among family producers, as well as the absence of precise legislation and solid legal instruments for the protection of natural spaces create a favorable scenario for real estate capital to operate in the context of gradual urban expansion. Similarly, the difficulties and ups and downs of solidarity economies in their links with the temporality of public powers establish thresholds of uncertainty in a scenario where the consumption patterns and habits of the conventional food production model prevail.

Acknowledgment

Some of the ideas presented in this study are derived from the research subproject "Peri-urban Agriculture and Proximity Systems in Central Mexico (project PA-PIIT CG 300122, "Mega-urbanization in Central Mexico. Socio-Territorial Inequality and New Peri-urbanization Processes"), funded by Universidad Autónoma de México (UNAM) and for which the author is co-responsible.

End of English version

=====

References / Referencias

Ávila, H. (2024). "Producción y consumo alimentario en espacios periurbanos de proximidad. Procesos socio-territoriales en la conformación de los sistemas agroalimentarios" en *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM*. México, Instituto de Geografía-UNAM.No. 113, Abril 2024. eISSN: 2448-7279 • DOI: <https://doi.org/10.14350/rig.60806> • e60806 www.investigacionesgeograficas.unam.mx

contactan y que se identifican con las modalidades e intereses de los capitales inmobiliarios. Es un hecho real en los tiempos presentes y, sobre todo, en la urbe madrileña, que muestra el ímpetu del avance urbano, uno de los de mayor dinamismo a nivel internacional.

¿La figura del parque agrario contribuye a la seguridad alimentaria? Pese a las opiniones diversas, hay consenso que la dinámica de los parques agrarios en Madrid tiene un ámbito de influencia limitado. El uso del espacio periurbano y la multifuncionalidad que ha generado su vinculación con grupos de consumo urbano, difícilmente se proyecta más allá del ámbito local. En el parque madrileño no se han logrado establecer las condiciones para dar el *salto de escala*, en términos de la ausencia de una logística consolidada del sistema de producción, distribución y comercialización. Otro obstáculo se identifica con una efectiva vinculación con programas de compras públicas o promoción subsidiada o apoyada desde las instancias públicas, como en el caso de la obligatoriedad de consumo local y de proximidad en los desayunos escolares en los principales centros metropolitanos¹³.

Por otra parte, los parques agrarios aportan elementos de valía en el reconocimiento de las identidades y la patrimonialización del territorio. La recuperación de especies autóctonas refuerza el interés por reactivar la gastronomía y la memoria local, ante el embate de las manifestaciones territoriales y sociales que representa la dinámica urbana. Igualmente, la diversidad de funciones que se desarrollan en los parques agrarios (las actividades del ocio y de pedagogía ambiental), fortalecen el sentido y la trascendencia de la multifuncionalidad de los espacios rurales contemporáneos.

Los parques agrarios en Madrid se encuentran permanentemente bajo la amenaza de la expansión urbana. Por ello se trabaja para construir una gobernanza sólida y efectiva que defina a cabalidad los roles de los agentes y actores sociales participantes, que a su vez permita una implantación más efectiva en territorios que cuenten con condiciones para su realización. Pero, sobre todo, el impulso a la producción de alimentos sanos, que se vinculen armónicamente con el ambiente e impacten en las economías locales y sus habitantes, tienen un largo trecho por recorrer.

Su implementación en otros ámbitos como el la-

¹³ O bien, incrementar el consumo de productos agroecológicos de proximidad como en las regiones españolas de Cataluña y Valencia.

- Ávila, H. (2016). "Periurbanización y gestión territorial. Algunas ideas y enfoques disciplinarios" en Vieyra, Antonio y Yadira Méndez (coords.) *Procesos urbanos, pobreza y ambiente. Experiencias en megaciudades y ciudades medias*. Morelia: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental-UNAM.
- Ayuntamiento Rivas Vaciamadrid (2022). *Parque Agroecológico Soto el Grillo*. Disponible en <https://www.rivasciudad.es/parqueagroecologico/>. Recuperado en Octubre 2022.
- Berti, G., & Mulligan, C. (2016.). Competitiveness of Small Farms and Innovative Food Supply Chains: The Role of Food Hubs in Creating Sustainable Regional and Local Food Systems. *Sustainability*, 8(616). doi:10.3390/su8070616
- Borsellino, V., Schimmenti, E., & El Bilali, H. (2020). Agri-Food Markets towards Sustainable Patterns. *Sustainability* 2020, 12, 2193; doi:10.3390/su12062193 www.mdpi.com/journal/sustainability
- Brenner, N., & Schmid, Ch. (2016). La era urbana en debate. *Eure*. Vol. 42, No. 127. Septiembre 2016. Recuperado de: <https://eure.cl/index.php/eure/article/view/2123/926>
- Conselleria de Sanitat Universal i Salut Pública (2018). *Plataforma per la Sobirania Alimentària del País Valencià*. Generalitat Valenciana: La Plaça, S.L.U. Recuperado de: <https://blog.ecoveo.es/ecologia/obradores-compartidos-una-oportunidad-para-la-agroalimentacion-rural/>
- Cleveland, D., Müller, N., Tranovich, A., & Mazaroli, D. (2014). Local food hubs for alternative food systems: A case study from Santa Barbara County, California. *Journal of Rural Studies*, 35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rurstud.2014.03.008>
- Fleury, A., & Donadieu, P. (1997). De l'agriculture périurbaine à l'agriculture urbaine. *Courrier de l'environnement de l'INRA*. (31). Recuperado de: https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Fleury+y+Donadieu%2C+1997&btnG=
- Folgado, F. (2020). Los parques agrarios metropolitanos como modelo de sostenibilidad territorial. *Espacios de transición campo-ciudad*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10251/135474>
- Friedmann, J. (2016). The future of periurban research. *Cities* No. 53. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/journal/cities/vol/53/suppl/C>
- Hamrita, A., Mata-Olmo, R., López-Estébanez, N., & Rejeb, H. (2021). Agricultural landscape in periurban mediterranean contexts: the case of Greater Sousse (Tunis). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (90). <https://doi.org/10.21138/bage.3143>
- Jarosz, L. (2008). The city in the country: Growing alternative food networks in metropolitan areas. *Journal of rural studies* 24 (2008). Elsevier Ltd. Doi: 10.1016/j.rurstud.2007.10.002

tinoamericano, debe aún transitar un largo camino. Las condiciones de las estructuras agrarias en los distintos países, caracterizados por la pulverización de la propiedad, dificulta la inclusión de los espacios urbano-rurales en los planes y programas del ordenamiento urbano y regional (Ávila, 2016). Los roles que deberían ejecutar las organizaciones gubernamentales y de productores, están muy lejanos de constituir una gobernanza sólida, que da cauce al establecimiento de espacios vinculados a la producción de alimentos sanos y de los espacios de interacción urbano rural que fortalezcan la sustentabilidad y el ejercicio de la educación ambiental en las localidades próximas. El panorama del empobrecimiento generalizado entre los productores familiares, así como la ausencia de legislaciones precisas y sólidos instrumentos jurídicos para la protección de los espacios naturales, constituye un escenario favorable a la operación del capital inmobiliario, en la paulatina expansión urbana. Igualmente, las dificultades y vaivenes de las economías solidarias en sus vinculaciones con la temporalidad de los poderes públicos, establece umbrales de incertidumbre en un escenario donde privan las formas y hábitos de consumo del modelo convencional de la producción alimentaria.

Agradecimiento

Algunos planteamientos expuestos en la presente aportación se derivan del subproyecto de investigación "Agricultura Periurbana y sistemas de proximidad en el Centro de México (proyecto PAPIIT CG 300122, "La Mega-urbanización en la Región Centro de México. Desigualdad Socio-Territorial y Nuevos Procesos de Peri-urbanización"), financiado por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y la que el autor es co-responsable.

Fin de la versión en español

- Jennings, S. J. Cottee, T. Curtis, & S. Miller (2015). Food in an Urbanised World. The Role of City Region Food Systems in Resilience and Sustainable Development. Londres: International Sustainability Unit. Recuperado de: https://www.fao.org/fileadmin/templates/FCIT/documents/Food_in_an_Urbanised_World_Report_DRAFT_February_2015.pdf
- Lardon, S., & Loudiyi, S. (2014). Agriculture et alimentation urbaines: entre politiques publiques et initiatives locales.

- Géocarrefour*. Vol. 89, 1-2. <https://journals.openedition.org/geocarrefour/9296>
- López, D., Alonso, N., García, V., Molero, J., Fernández, J., Arroyo, L., & Herrera, P. (2020). Ámbitos de gobernanza en las políticas alimentarias urbanas: Una mirada operativa. *Estudios Geográficos* 81 (289), e051. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.202065.065>
- Mantovani, G., Peralta, M., & Sojjet, M. (2020). "La figura del parque agrario en Argentina. Un recurso para afrontar las problemáticas de la urbanización metropolitana". *XII SIIU*. Universitat Politècnica de Catalunya. Doi: <https://doi.org/10.5821/siiu.9923>
- Mata, R., & Yacamán, C. (2015). Gobernanza para una agricultura viva en un paisaje periurbano de calidad. Estudios de caso en la huerta metropolitana de Madrid. En De la Riva, J., Ibarra, P., Montorio, R., Rodrigues, M. (Eds.) 2015 *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*: Universidad de Zaragoza-AGE. ISBN: 978-84-92522-95-8
- Michelini, J., & Abad, L. (2018). Nuevas prácticas colaborativas, cuestión alimentaria y desarrollo urbano: los grupos de consumo agroecológico en Vallecas, Madrid. En Sanz, J. y Delgadillo, J. (Coords.) *Sistemas Agroalimentarios locales de proximidad, Contextos rururbanos en México y España*. UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas.
- Milan Urban Food Policy Pact* (2015). Recuperado de: <https://www.foodpolicymilano.org>
- Paül, V. (2015) Los parques agrarios en Cataluña. Breve análisis de la contribución de Josep Montasell a su concepción, desarrollo e implantación. En Yacamán, C. y Zazo, A. (coords.) (2015) *El parque agrario. Una figura de transición hacia nuevos modelos de gobernanza territorial y alimentaria*. Madrid: Heliconia S. Coop. Mad.
- Poulot, M. (2011). Des arrangements autour de l'agriculture en périurbain: du lotissement agricole au projet de territoire. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*. Volume 11 Numéro 2 | septembre 2011. <http://vertigo.revues.org/11188>; Doi: 10.4000/vertigo.11188
- Sanz, J., & Yacamán, C. (2022). Innovación y alimentación sostenible. Políticas y modelos cooperativos de logística y comercialización. *Mediterráneo Económico* 35. *La España rural: retos y oportunidades del futuro*. | ISSN: 1698-3726 | ISBN-13: 978-84-95531-64-3. Cajamar Caja Rural.
- Sanz, J., Lagoma, C., & Lozenko, A. (2018). Los grupos y cooperativas de consumo agroecológico de Lavapiés, Madrid: política, organización y gobernanza territorial. En Sanz, J. y Delgadillo J. (Coords.) *Sistemas Agroalimentarios locales de proximidad. Contextos rururbanos en México y España*. UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas.
- Segrelles, J. (2015). Agricultura periurbana, Parques Naturales Agrarios y mercados agropecuarios locales: una respuesta territorial y productiva a la subordinación del campo a la ciudad. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Universidad de Barcelona. vol. XIX, nº 502. <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-502.pdf>>. ISSN: 1138-9788.
- Simón, M., Zazo, A., & Morán, N. (2012) Nuevos enfoques en la planificación urbanística para proteger los espacios agrarios periurbanos. *Ciudades* 15 (1) 2012. Instituto Universitario de Urbanística, Universidad de Valladolid. Recuperado de: <https://iuu.uva.es/revista/listado-numeros/ciudades-15/>
- Soulard, Ch., Perrin, C., & Jarrige, F. (2018) Territorial innovation in the relationships between agriculture and the city in Faure, G.; Chiffolleau, Y.; Goulet, F. (eds.) *Innovation and development in agricultural and food systems*. Chapter 7. Éditions Quæ, 2018 ISBN ePub: 978-2-7592-2960-4. Versailles.
- Thomas F. (2016) Les ateliers de transformation collectifs en France: *Innovations Agronomiques* 49. <http://doi.org/10.15454/1.4622869489533147E12>.
- Tornaghi, C., & Dehaene, M. (2019). The prefigurative power of urban political agroecology: rethinking the urbanisms of agroecological transitions for food system transformation *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 44 (5). Doi: 10.1080/21683565.2019.1680593
- Torre, A. (2013). Introduction. *Natures urbaines : l'agriculture au coeur des Métropoles?* Paris, Demeter.
- Vidal, R., & Fleury, A. (2008) «Agriculture, City and Territory: French experiments in urban agriculture, in *Actes du colloque de Leuven: Rurality near the City, publication électronique*, université de Leuven, 2008. <http://agriurbanisme.fr/publi.html>.
- Yacamán, C. (2018a). El Parque Agrario: Planificación estratégica para la preservación y gestión de los espacios agrarios metropolitanos. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*. Vol. L, Nº 198, invierno 2018 ISSN: 1133-4762. Recuperado de: <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/76700>
- Yacamán, C. (2015). Reflexiones sobre la gestión y dinamización de los Parques Agrarios: democratizando el sistema alimentario en Yacamán, C. y Zazo, A. (coords.) (2015) *El parque agrario. Una figura de transición hacia nuevos modelos de gobernanza territorial y alimentaria*. Madrid: Heliconia S. Coop. Mad.

- Yacamán, C., & Zazo, A. (coords.) (2015). *El parque agrario. Una figura de transición hacia nuevos modelos de gobernanza territorial y alimentaria*. Madrid: Heliconia S. Coop. Mad.
- Zasada, I. (2011). Multifunctional peri-urban agriculture—A review of societal demands and the provision of goods and services by farmin". *Land Use Policy* 28 (2011). Elsevier. **Doi:** 10.1016/j.landusepol.2011.01.008
- Zazo, A (2010). El Parque Agrario: Preservación de la actividad agraria en espacios periurbanos (El caso del Bajo Llobregat). *Revista Territorios en Formación* | 2011 | N01 | Trabajos fin de Máster. Estudios Urbanos. Recuperado de: https://oa.upm.es/37980/1/INVE_MEM_2011_206038.pdf



Potentially Toxic Elements in Maize Agroecosystems of Españita, Tlaxcala

Itzel Ángeles Hernández González¹;
Atenógenes Leobardo Licona Vargas^{2*};
Claudia Fernández González³;
María Virginia González Santiago²

Abstract

Agricultural practices can contribute to soil contamination with potentially toxic elements (PTEs), which have adverse effects on the environment and human health. For this reason, this study evaluated soil contamination by heavy metals and metalloids (PTEs) and its relationship with the management of maize agroecosystems under agroecological transition and conventional systems in Españita, Tlaxcala. The agroecosystems were characterized through interviews with farmers, and soil samples were analyzed to determine their properties and PTE concentrations. The results showed that both types of agroecosystems use low amounts of industrial agricultural inputs and integrate practices from both traditional small-scale farming and conventional agriculture. Additionally, PTE concentrations did not exceed maximum acceptable levels, indicating that the studied agroecosystems are a source of food free from heavy metal. Agroecosystems in agroecological transition showed a greater soil buffering capacity against PTEs, as they exhibited pH values closer to neutrality, higher organic matter content, and greater cation exchange capacity (CEC) compared to conventional agroecosystems. To reduce the potential for PTE contamination, the design and management of agroecosystems that enhance soil buffering capacity should be promoted, and the impact of other contaminants should also be studied.

Keywords: Agroecological practices, heavy metals, soil degradation, agroecosystems, agroecological transition

Elementos potencialmente tóxicos en agroecosistemas de maíz de Españita, Tlaxcala

Resumen

Las prácticas agrícolas pueden contribuir a la contaminación del suelo con elementos potencialmente tóxicos (EPT) que tienen efectos adversos sobre el ambiente y la salud humana. Por este motivo, se investigó la contaminación del suelo por metales pesados y metaloides (EPT) y su relación con el manejo de agroecosistemas de maíz en transición agroecológica y convencionales de Españita, Tlaxcala. Los agroecosistemas se caracterizaron mediante entrevistas a los agricultores, y se analizaron los suelos para determinar sus propiedades y la concentración de EPT. Se determinó que ambos tipos de agroecosistemas emplean pocas cantidades de insumos agrícolas industriales y que mantienen tecnologías tanto de la agricultura campesina como de la agricultura convencional. Además, se estableció que las concentraciones de EPT no superan los niveles máximos aceptables, lo que indica que los agroecosistemas estudiados constituyen una fuente de alimentos libres de metales pesados. Los agroecosistemas en transición agroecológica mostraron una mayor capacidad de amortiguamiento del suelo frente a los EPT, ya que presentaron pH más cercanos a la neutralidad, mayor contenido de materia orgánica y CIC más alta en comparación con los agroecosistemas convencionales. Para reducir el potencial de contaminación por EPT, debe promoverse el diseño y gestión de agroecosistemas que mejoren la capacidad de amortiguamiento del suelo y debe investigarse el impacto de otros contaminantes.

Palabras clave: Prácticas agroecológicas, metales pesados, degradación del suelo, agroecosistemas, transición agroecológica.

¹Investigadora asociada del CONAHCYT al proyecto 318962, Ave. De los Insurgentes Sur 1582, Crédito Constructor, Benito Juárez CDMX, C. P. 03949.

²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Agroecología, km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. México.

³Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria (INIFAP), Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), Ave. Progreso 96, Santa Catarina, Coyoacán, Ciudad de México. CDMX, C. P. 04010, México.

*Corresponding author: aliconav@chapingo.mx; lateno_60@yahoo.com.mx Tel. 5951219272, ORCID ID: 0000-0002-7248-5663

Introduction

Heavy metals and metalloids can become Potentially Toxic Elements (PTEs) for individuals who regularly consume maize (*Zea mays*) (Ruiz-Huerta *et al.*, 2022). Some heavy metals and metalloids are important for plant metabolism; however, high concentrations can be detrimental to plant development, environmental health, and the well-being of people who rely on the food and medicinal resources of agroecosystems (Rashid *et al.*, 2023). Therefore, the term "Potentially Toxic Elements" (PTEs) refers to chemical elements that are environmentally and toxicologically significant (Volke-Sepúlveda *et al.*, 2005).

According to the Mexican Official Standard "NOM-147-SEMARNAT-SSA1-2004," twelve PTEs are subject to regulatory oversight. These elements are: As, Ba, Be, Cd, Cr, Hg, Ni, Ag, Pb, Se, Ta, and V, which are important due to their prevalence in contaminated sites and their association with adverse health effects (SEMARNAT, 2007). In addition, there have been proposals to include other metals such as Al, Co, and Si as potential PTEs (Volke-Sepúlveda *et al.*, 2005). NOM-147 establishes the maximum allowable concentrations (MAC) of these elements in soil as a criterion for determining contamination status and the need for remediation. It is important to note that the permissible concentration limits vary by country (Belmonte-Serrato *et al.*, 2010).

In the Atoyac-Zahuapan basin, located in Tlaxcala, CONAGUA confirmed in 2007 that the water bodies in the region are classified as highly hazardous due to their high concentrations of PTEs (Méndez-Serrano *et al.*, 2017). This has led to health problems among people living in communities near the basin's tributaries. It has been inferred that such health issues are associated with exposure to toxic residues present in the air and water, resulting from industrial activity, as well as from diffuse sources such as the irrigation of crops with contaminated water and the application of fertilizers and pesticides in conventional agriculture (CONAHCYT, 2023).

To contribute to the understanding of the impact of PTEs in agricultural soils of the Atoyac-Zahuapan basin, particularly in Tlaxcala, this study analyzed maize-based agroecosystems, because they are the most widespread in the region and maize is the primary grain for household consumption. In Tlaxca-

Introducción

Los metales pesados y los metaloides pueden convertirse en Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) para las personas que consumen maíz (*Zea mays*) de forma regular (Ruiz-Huerta *et al.*, 2022). Algunos metales pesados y metaloides son importantes para el metabolismo de las plantas, sin embargo, las concentraciones elevadas pueden perjudicar su desarrollo, la salud del ambiente y de las personas que aprovechan los recursos alimenticios y medicinales de los agroecosistemas (Rashid *et al.*, 2023). Por ello, el término de elementos potencialmente tóxicos (EPT) se refiere a aquellos elementos químicos importantes desde el punto de vista ambiental y toxicológico (Volke-Sepúlveda *et al.*, 2005).

De acuerdo con la norma oficial mexicana "NOM-147.SEMARNAT-SSA1-2004", doce EPT están sujetos a supervisión reglamentaria. Los elementos son: As, Ba, Be, Cd, Cr, Hg, Ni, Ag, Pb, Se, Ta y V, mismos que se consideran relevantes debido a su prevalencia en lugares contaminados y a su asociación con efectos adversos para la salud (SEMARNAT, 2007). Además, existen propuestas para incluir otros metales como el Al, Co y Si como posibles EPT (Volke-Sepúlveda *et al.*, 2005). La norma NOM 147 establece las concentraciones máximas aceptables (CMA) de los elementos en el suelo como criterio para determinar el estado de contaminación y la necesidad de remediación. Cabe señalar que los límites permisibles de concentración son diferentes en cada país (Belmonte-Serrato *et al.*, 2010).

En la cuenca del Atoyac-Zahuapan, en Tlaxcala la CONAGUA confirmó, en el año 2007, que los cuerpos de agua son clasificados como de alto grado de peligrosidad debido a sus altas concentraciones de EPT (Méndez-Serrano *et al.*, 2017). Esto ha provocado problemas de salud en las personas que viven en comunidades aledañas a los afluentes de la cuenca. Se ha inferido que tales problemas de salud se asocian a la exposición de residuos tóxicos presentes en el aire y el agua como consecuencia de la industria, así como de fuentes difusas como el riego de cultivos con agua contaminada y la aplicación de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura convencional (CONAHCYT, 2023).

Con la finalidad de aportar a la comprensión del impacto de los EPT en suelos agrícolas de la cuenca Atoyac-Zahuapan, en particular en Tlaxcala, en este trabajo se estudiaron los agroecosistemas con maíz porque son los más abundantes en el territorio y es el grano

la, about 50 % of the total area under rainfed agriculture is planted with maize for grain and forage, with limited technological input and low yields (INIFAP, 2021). Most producers grow it as a monoculture (also referred to as conventional agriculture), while about 20 % practice intercropping and crop rotation, mainly with beans, fava beans, and squash—systems also considered part of traditional farming technologies (Sánchez-Morales & Romero-Arenas, 2018). Similarly, Damian-Huato et al. (2010) classify this type of production within peasant agriculture with agroecological management, which integrates Green Revolution technologies with traditional practices.

Maize monoculture is characterized by the use of improved seeds, chemical fertilizers, herbicides, insecticides, and mechanized tillage equipment (Sánchez-Morales & Romero-Arenas, 2018). In contrast, maize grown in association, whether within traditional technology, peasant agriculture, or agroecological management systems—employs similar technological components but emphasizes the use of native seeds, crop associations and rotations with legumes, manure management, soil conservation practices, and reduced use of fertilizers and herbicides (Damian-Huato et al., 2010). The average yield of rainfed maize grain in the region is 2.56 tons per hectare, which is below the national average of 2.69 tons per hectare (SIAP, 2024). However, yields of up to seven tons per hectare have been recorded (Sánchez-Morales & Romero-Arenas, 2018).

Agricultural productivity decline has also been linked to environmental degradation (Alvarado-Cardona et al., 2007). In Tlaxcala, 93 % of the land area is affected by water and wind erosion, while 23.54 % shows decreased fertility and loss of organic matter (SEMARNAT-CP, 2002). Evidence suggests that certain farming practices contribute to both this environmental deterioration and the accumulation of heavy metals and metalloids in the soil. One such contributing factor is the irrigation of maize and alfalfa fields with water contaminated by industrial activities (Castro-González et al., 2019).

Other agricultural practices identified as sources of heavy metals and metalloids in soil include the use of inorganic fertilizers, pesticides, manure and compost, sewage sludge, and anti-hail rockets (Martí et al., 2002; Rashid et al., 2023). Although these practices are

principal para el consumo familiar. En Tlaxcala, aproximadamente el 50 % de la superficie total de agricultura de temporal se siembra con maíz para grano y forraje con escasa tecnificación y bajos rendimientos (INIFAP, 2021). La mayoría de los productores lo cultivan en monocultivo (también llamado convencional), mientras que un 20 % lo hace en asociación y rotación principalmente con frijol, haba y calabaza, también considerado de tecnología tradicional (Sánchez-Morales & Romero-Arenas, 2018). Asimismo, Damian-Huato et al. (2010) lo ubica en la corriente de agricultura campesina con manejo agroecológico, en la que se combinan tecnologías de la revolución verde con las tradicionales.

El cultivo de maíz en monocultivo se caracteriza por el uso de semillas mejoradas, fertilizantes químicos, herbicidas, insecticidas, maquinaria y equipo para la labranza (Sánchez-Morales & Romero-Arenas, 2018). En el caso del cultivo de maíz en asociación (de tecnología tradicional, de agricultura campesina o con manejo agroecológico) se emplean los mismos componentes tecnológicos, pero resaltan las semillas criollas, las asociaciones y rotaciones con leguminosas, el manejo del estiércol y las prácticas de conservación del suelo, así como el uso reducido de fertilizantes y herbicidas (Damian-Huato et al., 2010). El rendimiento promedio de grano de maíz de temporal en la región es de 2.56 toneladas por hectárea, lo que está por debajo de la media nacional (2.69 toneladas por hectárea) (SIAP, 2024). Sin embargo, se han registrado rendimientos de hasta siete toneladas por hectárea (Sánchez-Morales & Romero-Arenas, 2018).

La disminución de la productividad agrícola también puede atribuirse a la degradación ambiental (Alvarado-Cardona et al., 2007), dado que el 93 % de la superficie del estado está afectada por erosión hídrica y eólica, y el 23.54 % presenta declinación de la fertilidad y pérdida de materia orgánica (SEMARNAT-CP, 2002). Se ha documentado que ciertas prácticas agrícolas pueden contribuir al deterioro ambiental antes señalado, pero además a la presencia de metales pesados y metalloides en el suelo. Esto es consecuencia del riego de parcelas de maíz y alfalfa con aguas contaminadas por la actividad industrial (Castro-González et al., 2019).

Otras prácticas agrícolas identificadas como fuentes de metales pesados y metalloides en el suelo son el uso de fertilizantes inorgánicos, plaguicidas, estiércol y compost, lodos de aguas residuales y el uso de cohetes an-

intended to enhance the productivity of agroecosystems, they also lead to soil degradation and reduced productivity when contaminant levels exceed acceptable thresholds.

Although the presence of metals and metalloids is often linked to agricultural practices and inputs, their origin, diversity, and concentration in different agroecosystems must be studied. Alloway (2013) indicates that these elements occur naturally in all soil worldwide, either as total concentration or as bioavailable forms, and in highly variable amounts. The natural sources of metals and metalloids in soil include the weathering of parent material, the breakdown of volcanic rocks, calcareous sediments, phosphorus-rich deposits, and iron oxides (Alloway, 2013; Srivastava *et al.*, 2017). Therefore, agricultural practices that enhance physical, chemical, and biological weathering of the soil's mineral fraction may have undesirable effects by releasing these elements.

Another significant source of metals and metalloids is their removal and deposition by wind, dust, aerosol-sized particles, and gaseous metals. Heavy metals in the atmosphere have been documented to come from different sources, including emissions from smelting and pyrometallurgical industries, vehicle emissions, cigarette smoke, domestic fires, forest and landfill fires, and the corrosion or wear of metal structures like galvanized sheets, among others (Alloway, 2013; Rashid *et al.*, 2023).

Phosphate fertilizers have been identified as the primary source of potentially toxic elements (PTEs) among agricultural inputs (Martí *et al.*, 2002; Rashid *et al.*, 2023). These fertilizers often contain higher concentrations of lead (Pb) and cadmium (Cd) compared to nitrogen-based fertilizers (Martí *et al.*, 2002). The levels of metals and metalloids in composted fertilizers vary widely, depending on the materials used and the production processes involved (Rodríguez-Alfaro *et al.*, 2012; Dueñas-Rivadeneira and Intriago-Flor, 2022). Additionally, pesticides can contain elements such as copper Cu, Zn, Cd, Pb and As, either as active ingredients or as part of their inert components (Srivastava *et al.*, 2017).

Exposure to PTEs poses health risks due to the use of agricultural inputs, as well as the consumption of contaminated water and harvested crops. Therefore, it is essential to assess the presence and concentra-

tigranizo (Martí *et al.*, 2002; Rashid *et al.*, 2023). Aunque las prácticas mencionadas pretenden aumentar la productividad de los agroecosistemas, también provocan la degradación del suelo y disminución de la productividad cuando su contenido rebasa los niveles tolerados.

Aunque la presencia de metales y metalloides suele estar vinculada a las prácticas e insumos agrícolas, se debe examinar su origen, así como su diversidad y concentración en los distintos agroecosistemas. Alloway (2013) indica que estos elementos están presentes de manera natural en todos los suelos del mundo, ya sea como concentración total o como concentración disponible para los organismos y en cantidades muy variables. La fuente de metales y metalloides en el suelo por causas naturales se deriva de la intemperización del material parental, la desintegración de rocas volcánicas, los sedimentos calcáreos, los depósitos ricos en fósforo y óxidos de hierro (Alloway, 2013 y Srivastava, *et al.*, 2017). Por consiguiente, las prácticas agrícolas que facilitan la intemperización física, química y biológica de la fracción mineral del suelo, pueden tener efectos indeseables al liberar estos elementos.

Otra fuente importante de metales y metalloides es la remoción y deposición, por el viento, polvo, partículas del tamaño de aerosoles y metales gaseosos. Se ha documentado que los metales pesados presentes en la atmósfera son generados por diversas fuentes como las emisiones de industrias de fundición y pirometalurgia, las emisiones de los vehículos, el humo de cigarro, el fuego doméstico, los incendios forestales y de basureros, el desgaste de estructuras metálicas como las láminas galvanizadas, entre otros (Alloway, 2013; Rashid *et al.*, 2023).

En cuanto a la contribución de metales pesados y metalloides a través de los insumos agrícolas, se ha demostrado que los fertilizantes fosfatados aportan los niveles más altos de EPT (Martí *et al.*, 2002; Rashid *et al.*, 2023). Estos fertilizantes pueden contener niveles más elevados de Pb y Cd que los fertilizantes nitrogenados (Martí *et al.*, 2002). Las concentraciones de metales y metalloides en los abonos compostados presentan una variabilidad considerable, que depende de los procesos y materiales empleados en su elaboración (Rodríguez-Alfaro *et al.*, 2012; Dueñas-Rivadeneira e Intriago-Flor, 2022). Los pesticidas, por su parte, pueden contener principalmente Cu, Zn, Cd, Pb y As como parte de sus ingredientes activos o inertes (Srivastava *et al.*, 2017).

tion of these elements in agroecosystems. This need is especially relevant in the municipality of Españita, where a study conducted by CONAHCYT (2023) involving biomonitoring of adolescents aged 12 to 15 revealed kidney issues and PTE levels exceeding the limits recommended by the WHO. The study found that over 50 % of the adolescents had detectable levels of Pb, Cr, and Cd, while As was present in only 5% of the participants.

Based on the above, this document reports the presence of PTEs in two types of maize-based agroecosystems in communities of Españita, Tlaxcala: those where conventional management practices predominate, and those that have been undergoing an agroecological transition over the past eight years. Although, according to Tiftonell (2019), the agroecological transition is a multidimensional and multiscalar process, this study adopts the perspective of Costabeber (1998), cited by Rodríguez (2015), who defines it as a continuous process aimed at shifting agroecosystem management from a conventional model to one based on ecological principles. For both groups, the structure and functioning of the agroecosystems were analyzed, with an emphasis on agricultural practices and inputs as potential sources of PTEs. Additionally, the presence and levels of PTEs in the soil were identified, which are presumably linked to the agricultural practices carried out. The underlying premise is that PTE levels in agroecosystems undergoing agroecological transition are lower compared to those where conventional practices predominate.

Materials and Methods

Study area. This research was conducted in maize plots located in four communities of the municipality of Españita, Tlaxcala: San Francisco Mitepec, La Magdalena Cuextotitla, La Reforma, and La Constanza. Españita is situated between 19° 22' and 19° 30' N and 98° 20' and 98° 31' W, at an elevation ranging from 2 400 to 2 900 meters. The terrain consists of low hills with slopes between 1–15 %. The climate is temperate sub-humid, with an average annual precipitation ranging from 700 to 800 mm and an average temperature between 12 and 14 °C (INEGI, 2010). The underlying rock is of extrusive igneous origin, primarily andesite and intermediate tuff, and the predominant soil type is Cambisol (Flores-Domínguez & Priego-

Existen riesgos a la salud humana por la exposición a EPT por el manejo de los insumos agrícolas, el consumo de agua y productos cosechados contaminados, por lo que es necesario averiguar la presencia y los niveles de EPT en los agroecosistemas. Más aún por el hecho de que, particularmente para el municipio de Españita, en un estudio del CONAHCYT (2023) a través de un biomonitoreo en adolescentes de entre 12 y 15 años, detectaron problemas renales y presencia de EPT que rebasaron los valores recomendados por la OMS en la población participante. Se reportan Pb, Cr y Cd en más del 50 % de los adolescentes, y el As en solo el 5 % de los participantes.

Por lo anterior, en el presente documento se reporta la presencia de EPT en dos tipos de agroecosistemas con maíz en comunidades de Españita, Tlax.; aquellos con predominancia de prácticas de manejo convencional y los que se han incorporado a un proceso de transición agroecológica en los últimos ocho años. Aunque según Tiftonell (2019) el proceso de transición agroecológica es multidimensional y multiscalar, en este estudio se acota la opinión de Costabeber (1998), citado por Rodríguez (2015), quien acota que es un proceso continuo para cambiar las formas de manejo de agroecosistemas desde un modelo convencional a otro basado en principios ecológicos. Para ambos grupos se identificó la estructura y el funcionamiento de agroecosistemas, haciendo hincapié en las prácticas agrícolas y los insumos como posibles fuentes de EPT. Asimismo, se identificó la presencia y los niveles de EPT en el suelo, que presumiblemente se derivan de las prácticas agrícolas llevadas a cabo. La premisa es que los niveles de EPT en los agroecosistemas en transición agroecológica son menores en comparación con aquellos en los que predomina las prácticas convencionales.

Materiales y Métodos

Área de estudio. La investigación se realizó en parcelas de maíz ubicadas en cuatro comunidades del municipio de Españita, Tlaxcala: San Francisco Mitepec, La Magdalena Cuextotitla, La Reforma y La Constanza. Españita se localiza entre los paralelos 19° 22' y 19° 30' N; los meridianos 98° 20' y 98° 31' O; a una altitud entre 2 400 y 2 900 m; con un relieve de lomeríos con pendientes entre 1-15 %. El clima es templado subhúmedo, con un rango de precipitación promedio anual de 700 a 800 mm y un rango de temperatura de 12 a

Santander, 2021). The dominant land cover and use is rainfed agriculture (Flores-Domínguez & Priego-Santander, 2021).

Selection and Characterization of Agroecosystems. The selected plots are located on terraced slopes near water streams in communities where health issues related to PTE contamination have been identified (CONAHCYT, 2023). A total of 20 rainfed maize plots were selected and classified into two groups: a) 14 conventional agroecosystems where hybrid maize is grown in monoculture using agrochemicals, and b) 6 agroecosystems that have been undergoing agroecological transition for two to eight years, where native maize is grown in association with other crops, and organic inputs are produced and used. This latter group of farmers is part of the grassroots organization *Centro de Economía Social Julián Garcés A.C.*, which has recovered traditional practices and incorporated agroecological innovations such as the production and use of bio-inputs.

The agroecosystems were characterized through semi-structured interviews and direct observation, focusing on cultivated and utilized plant diversity, cultural practices, inputs used, and local perceptions regarding possible agrochemical contamination and its health effects. Structural aspects (spatial and temporal distribution of seasonal crops, trees, and shrubs) and technological aspects were compared between both types of agroecosystems, as these factors may contribute to, prevent, or retain PTEs.

Sample Collection. In each plot, a composite soil sample was taken at a depth of 0 to 20 cm at the end of the maize growing season (ten in the third week of November 2022 and ten at the end of the 2023 season). The 20 samples were sent to a private laboratory, where soil fertility characteristics and PTE content were analyzed. The laboratory report indicated that Ni, Co, As, Ba, Cr, Cd, and Al were determined using the EPA6010C 2007 method; Pb, Si, and Be were analyzed using the ICP-AES method; and Cu and Zn were extracted with DTPA and Sorbitol and analyzed by ICP-PLASMA, internal method MET-SU-46.

Data Analysis. A comparative analysis of the results was carried out between two maize agroecosystem categories (conventional and in agroecological transition) to identify opportunities to produce healthy food (free of toxic elements) to promote family well-being.

14 °C (INEGI, 2010). El origen de la roca es ígnea extrusiva de tipo andesita y toba intermedia, y el tipo de suelo predominante es el Cambisol (Flores-Domínguez & Priego-Santander, 2021). La cobertura y el uso del suelo predominante es la agricultura de temporal (Flores-Domínguez & Priego-Santander, 2021).

Selección y caracterización de agroecosistemas. Las parcelas seleccionadas se encuentran en laderas de terrazas, aledañas a corrientes de agua de comunidades donde se han identificado problemas de salud asociados a la contaminación por EPT (CONAHCYT, 2023). Se seleccionaron 20 parcelas de maíz de temporal y se clasificaron en dos grupos: a) 14 agroecosistemas convencionales en los que se cultiva maíz híbrido en monocultivo y se utilizan agroquímicos y b) 6 agroecosistemas que llevan dos y ocho años en transición agroecológica en los que se cultiva maíz criollo asociado con otros cultivos y se producen y utilizan insumos orgánicos. Este grupo de productores forman parte de la organización de base Centro de Economía Social Julián Garcés A. C., mismos que han recuperado prácticas tradicionales e incorporado innovaciones agroecológicas como la elaboración y uso de bioinsumos.

Los agroecosistemas se caracterizaron mediante entrevistas semiestructuradas y observación directa sobre la diversidad vegetal cultivada y aprovechada, las prácticas culturales, los insumos utilizados y la percepción de las personas sobre la posible contaminación por agroquímicos y sus efectos sobre la salud. Se compararon los aspectos de estructura (distribución espacio-temporal de cultivos estacionales, árboles y arbustos) y aspectos tecnológicos entre ambos tipos de agroecosistemas, que presumiblemente aportan, previenen o retienen EPT.

Toma de muestra. En cada parcela se tomó una muestra compuesta de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm al final del ciclo de cultivo de maíz (diez en la tercera semana de noviembre de 2022 y diez al final del ciclo 2023). Las 20 muestras se enviaron a un laboratorio privado, en donde se realizaron las determinaciones de las características de fertilidad del suelo y del contenido de EPT. El informe del laboratorio indicó que el Ni, Co, As, Ba, Cr, Cd y Al se determinaron mediante el método EPA6010C 2007; el Pb, Si y Be, por el método ICP-AES; y el Cu y Zn, por extracción con DTPA y Sorbitol por ICP-PLASMA, método interno MET-SU-46.

The soil properties presented were those that primarily influence the presence and dynamics of PTEs in the soil, such as organic matter content (OM), pH, and cation exchange capacity (CEC) (Rashid et al., 2023). The behavior of these parameters was reported for both types of agroecosystems, and their evaluation was based on the reference values provided by Castellanos et al. (2000).

To assess whether there were significant differences between the management systems regarding soil properties and PTE levels, the Shapiro-Wilk test was first applied, revealing that the data did not follow a normal distribution. Consequently, the non-parametric Mann-Whitney U test was conducted with a significance level of $P < 0.05$ (IBM SPSS, 2012). PTE values were compared to the maximum acceptable concentrations (MAC) established by Mexican regulations (SEMARNAT, 2007) and international standards (Belmonte-Serrato et al., 2010) to determine the potential presence of contamination in the agroecosystems.

Results and Discussion

This section is composed of four aspects: the structure of the agroecosystems, their functioning, the physical and chemical conditions of the soil, and the PTE content in the soil. Each subsection includes a comparative description between the two types of agroecosystems, and Table 1 provides a summary of the key points from this comparative analysis.

Structure of the Agroecosystems

Both types of agroecosystems evaluated are established on terraces with soil ridges. Notably, some of these soil ridges are aligned along contour lines, and 30 % of the plots feature border-ditches designed for water and soil retention.

The vertical and horizontal structure in both types of agroecosystems corresponds to agroforestry systems over 60 years old, as forest trees (such as white cedar, pine, tepozan, oak, Montezuma bald cypress, and fir), fruit trees (including capulín, apple, hawthorn, pear, peach, plum, loquat, avocado, walnut, pine nut, and quince), shrub species (such as jarilla, palo dulce, and escobilla), as well as pulque agave and prickly pear cactus, are present along the soil ridges, boundaries, and paths. This diversity is consistent with the vegetation list reported by Pérez-Sánchez (2014).

Análisis de los datos. Se realizó un análisis comparativo de los resultados entre las dos categorías de agroecosistemas de maíz (convencional y en transición agroecológica) con la finalidad de encontrar oportunidades de producción de alimentos sanos (libres de elementos tóxicos) para el bienestar familiar.

Con respecto al análisis de las propiedades del suelo, se presentaron aquellas que influyen primordialmente en la presencia y dinámica de los EPT en el suelo, como son el contenido de materia orgánica (M.O.), el pH y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Rashid et al., 2023). Se reporta el comportamiento de estos parámetros en los dos tipos de agroecosistemas y su calificación está basada en los valores de referencia contenidos en Castellanos et al. (2000).

Para conocer si existen diferencias entre los sistemas de manejo con respecto a sus propiedades del suelo y de EPT, primero se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk que indicó que los datos no se distribuyeron normalmente. Por lo tanto, se utilizó la prueba U de Mann-Whitney con un nivel de significación de $P < 0,05$ (IBM SPSS, 2012). Los valores de EPT se compararon con las concentraciones máximas aceptables (CMA), establecidas por la norma mexicana (SEMARNAT, 2007) y la de otros países (Belmonte-Serrato et al., 2010) con el fin de determinar si existen agroecosistemas contaminados.

Resultados y Discusión

Este apartado se compone de cuatro aspectos que son: la estructura de los agroecosistemas, el funcionamiento de estos, las condiciones físicas y químicas del suelo y el contenido de EPT en el suelo. En cada apartado se realiza una descripción comparativa entre ambos tipos de agroecosistemas y en el Cuadro 1 se presenta un resumen de aspectos relevantes de esta descripción comparativa.

Estructura de los agroecosistemas

Ambos tipos de agroecosistemas evaluados se desarrollan en terrazas con bordos de tierra compactada. Cabe destacar que algunos de los bordos se encuentran alineados con curvas de nivel y que el 30 % de parcelas cuentan con zanjas-bordo para retención de agua y suelo.

La estructura vertical y horizontal en ambos tipos de agroecosistema corresponden a sistemas agrofo-

Table 1. Comparative summary of both types of agroecosystems.
Cuadro 1. Resumen comparativo de ambos tipos de agroecosistema.

Technological Aspects / Aspectos tecnológicos	Agroecosystems in Agroecological Transition / Agroecosistemas en transición agroecológica	Agroecosystems with Conventional Technology / Agroecosistemas con tecnología convencional
Structure / Estructura	Terraced agroforestry systems that include the year-round collection of insects, small mammals, fungi, and wild plants for local subsistence / Sistemas agroforestales sobre terrazas con recolección de insectos, mamíferos, hongos y arvenses para consumo local durante todo el año	Agroforestry systems on terraces with harvesting of insects, mammals, fungi, and weeds prior to agrochemical use / Sistemas agroforestales sobre terrazas con recolección de insectos, mamíferos, hongos y arvenses antes del uso de agroquímicos
Land preparation for sowing / Preparación del terreno para la siembra	Mechanized tillage using tractors and teams of oxen and horses / Labranza mecanizada con tractor y yunta de bovinos y equinos.	Mechanized tillage using tractors / Labranza mecanizada con tractor.
Crop diversity in agroecosystems / Diversidad de cultivos en los agroecosistemas	Maize intercropped and rotated with beans, fava beans, squash, Baby's Breath, <i>cempasúchil</i> flower, and other species. Mosaic landscape / Maíz asociado y en rotación con frijol, haba, calabaza, flor nube, flor de cempaxúchitl y otros. Paisaje de mosaicos.	Maize monoculture rotated mainly with wheat and occasionally with beans, fava beans, and squash / Monocultivo de maíz en rotación principalmente con trigo y Ocasionalmente con frijol, haba y calabaza
Crop fertilization / Fertilización de cultivos	Annual manuring and residue recycling. Application of 1–2.5 t·ha ⁻¹ ·year ⁻¹ of solid organic fertilizers and 200–1000 L·ha ⁻¹ ·year ⁻¹ of liquid fertilizers and other biostimulants / Anual estercolamiento y reciclaje de residuos. De 1-2.5 t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹ de abonos orgánicos sólidos y 200-1000 L·ha ⁻¹ ·año ⁻¹ de abonos líquidos y otros bioestimulantes.	200-750 kg·ha ⁻¹ ·yr ⁻¹ of urea applied in two doses and 100-250 kg·ha ⁻¹ ·yr ⁻¹ of DAP applied once. Occasional manuring and residue recycling / 200-750 kg·ha ⁻¹ ·año ⁻¹ de urea en dos aplicaciones y 100-250 kg·ha ⁻¹ ·año ⁻¹ de DAP en una aplicación. Ocasional estercolamiento y reciclaje de residuos.
Competitor control: weeds, pests, and diseases / Control de competidores: arvenses, plagas y enfermedades	Mechanical weed control. Preparation and application of plant- and mineral-based formulations, attractants, and entomopathogens for the natural control of pests and diseases. / Control mecánico de arvenses. Elaboración y aplicación de preparados vegetales y minerales, atrayentes y entomopatógenos para el control natural de plagas y enfermedades.	Use of herbicides such as 2,4-D and atrazine, applied alone or in combination, at rates of 1 kg or 1-1.5 l per ha. Application of pesticides including cypermethrin, chlorpyrifos ethyl, permethrin, and carbofuran. / Uso de herbicidas como 2,4-D y atrazina solos o mezclados. En 1 kg o de 1-1.5 l por hectárea. Aplicación de pesticidas como cipermetrina, clorpirifos etil, permetrina y carbofuran.
Harvest and yields / Cosecha y rendimientos	Plants are harvested progressively as they reach maturity. The average yield is 2 t·ha ⁻¹ , and under favorable rainfall conditions, it can reach up to 3.5 t·ha ⁻¹ . / Las plantas se amogotan para cosecharse paso a paso. El rendimiento promedio es de 2 t·ha ⁻¹ y, con buen temporal, se alcanzan 3.5 t·ha ⁻¹ .	Harvesting is mechanical, carried out in November and December. The average yield is 4 t·ha ⁻¹ and under favorable rainfall conditions, it can reach up to 7 t·ha ⁻¹ . / La cosecha es mecánica en noviembre y diciembre. El rendimiento promedio es de 4 t·ha ⁻¹ y, con buen temporal, se alcanzan hasta 7 t·ha ⁻¹ .
Use of wild plants and fauna through harvesting / Aprovechamiento de arvenses y fauna mediante la recolección	Forage weeds and crop residues are used as fodder in animal enclosures. Various quelites, edible fungi, and insects are consumed. Seasonal utilization by 100% of households. / Arvenses forrajeras y rastrojos para corrales. Consumo de diversos quelites, hongos e insectos comestibles. Aprovechamiento según temporada por el 100 % de familias.	Only 50 % of farmers utilize similar resources, and only before applying pesticides. / Solo el 50 % de los agricultores aprovechan recursos similares solo antes de aplicar pesticidas.

In both agroecosystems, forage resources such as the green tips of maize plants (also called “tazol”), forage weeds, and dry crop residues are utilized. These resources are harvested and transported to feed family livestock (sheep, horses, and cattle) in pens and, occasionally, after harvest, the resources are used directly in the field when animals are brought to graze.

Other components include wild species collected from soil ridges of terraces and, sometimes, within the cultivation area. Producers identified fungi such as *cempamil*, *huitlacoche*, *llanero*, and *orejas de puerco*; insect species such as *chinicuil*, maguey worm, and grasshopper; and various *quelites* including *ajenjo*, *amamaxtle*, *apizaco morado*, *cedrón*, *cochinitos* or *tlayayotes*, *cuaresmera*, *epazote de zorrillo*, *estafiate*, squash flower, *chilacayote* flower, squash vines, fennel, *huauzontle*, *jaltomate*, *jaramao*, cow tongue plant, *lengüitas*, mallow, turnip, *nopal chacacuero*, *nopal tapona*, *palo dulce*, *pericón*, *gray quelite*, *quintonil*, maguey flower stalk (*quiote*), *tlanoshtles*, and purslane. This diversity of utilized species corresponds with previous reports by Fernández-González (2021).

There are differences in the use of these wild resources. All producers within agroecosystems in agroecological transition consume them, whereas only 50 % of farmers in conventional agroecosystems collect them—and only prior to pesticide application—due to perceived health risks. Additionally, they report that the abundance of these resources tends to decline.

The described structure of both types of agroecosystems corresponds to the traditional agroforestry system known as *metepantles* or *metepancales* (Moreno-Calles et al., 2013; Méndez-Cervantes, 2022). Specifically, Moreno-Calles et al. (2013) report that, in recent interviews, farmers in Tlaxcala refer to *metepantle* as the combination of the planting terrace and the soil ridge, where succulent, woody, and semi-woody species are established to prevent soil erosion. The plant species found on soil ridges (whether planted, promoted, or tolerated) in both agroecosystems evaluated coincide with those reported by Moreno-Calles et al. (2013). Additionally, Magdaleno-Miranda et al. (2005) identified this agroforestry system as “trees in cultivated fields,” characterized by the presence of woody species and the observation that the sur-

restales de más de 60 años de antigüedad, ya que, tanto en los bordos, como en linderos y caminos, se cuenta con árboles forestales (cedro blanco, ocote, tepozán, encinos, sabinos, oyamel), frutales (capulín, manzana, tejocote, pera, durazno, ciruelo, níspero, aguacate, nogal, piñón, membrillo), plantas arbuscivas (jarilla, palo dulce, escobilla), maguey pulquero y nopal. Esta diversidad coincide con la lista de vegetación reportada por Pérez-Sánchez (2014).

En ambos agroecosistemas se aprovechan recursos forrajeros como las puntas de la planta de maíz en verde (también llamado “tazol”), arvenses forrajeras y los rastrojos secos. Estos recursos se cosechan y transportan para alimentar al ganado familiar (ovinos, equinos y bovinos) en corrales y, en ocasiones, tras la cosecha, los recursos se utilizan directamente en la parcela cuando se llevan los animales a pastar.

Se presentan otros componentes como las especies silvestres que se recolectan en bordos de las terrazas y, en ocasiones, dentro del área de cultivo. Los productores identificaron que dentro del cultivo y en la vegetación circundante se encuentran hongos como *cempamil*, *huitlacoche*, *llanero*, *orejas de puerco*; especies de insectos como el *chinicuil*, gusano de maguey, chapulín; y diversos *quelites* como: *ajenjo*, *amamaxtle*, *apizaco morado*, *cedrón*, *cochinitos* o *tlayayotes*, *cuaresmera*, *epazote de zorrillo*, *estafiate*, flor de calabaza, flor de chilacayote, guías de calabaza, hinojo, *huauzontle*, *jaltomate*, *jaramao*, lengua de vaca, *lengüitas*, malva, nabo, *nopal chacacuero*, *nopal tapona*, *palo dulce*, *pericón*, *quelite cenizo*, *quintonil*, *quiote de maguey*, *tlanoshtles*, *verdolaga*. Esta diversidad de especies aprovechadas coincide con lo reportado por Fernández-González (2021).

Existen diferencias en el aprovechamiento de estos recursos silvestres, ya que todos los productores de agroecosistemas en transición los consumen; en cambio, solo el 50 % de los agricultores de agroecosistemas convencionales los recolecta antes de aplicar los pesticidas, debido a que identifican riesgos para la salud. Además, indican que la abundancia de estos recursos tiende a disminuir.

La estructura mencionada de ambos tipos de agroecosistemas corresponde al sistema agroforestal tradicional denominado “*metepantles*” o “*metepancales*” (Moreno-Calles et al., 2013 y Méndez-Cervantes, 2022).

rounding vegetation facilitates the exchange of species with soil ridges.

This structure enables the provision of a range of agroecosystem services, including food, forage, timber, and medicinal resources. Additionally, producers acknowledged that it facilitates soil and moisture retention. These soil ridges also function as living barriers that can help contain pests and reduce the impact of wind on crops

Functioning of Agroecosystems

The characterization of agroecosystem functioning is based on a comparative description of the cultural practices reported by interviewees for both types of agroecosystems.

Land Preparation for Planting. In all agroecosystems (both conventional and those in agroecological transition), mechanized tillage with a tractor is practiced, consisting of plowing, harrowing, and planting. Pre-emergent herbicides are applied before sowing only in certain cases within the conventional model. In agroecosystems in transition, an additional practice known as "*la segunda*" is carried out, which involves a second pass with a harrow pulled by a team of oxen or horses.

Crop Diversity in Agroecosystems. In 100 % of the conventional agroecosystems, hybrid maize is grown under monoculture and in rotation, primarily with wheat; in a few cases, it is rotated with fava beans or common beans. In contrast, agroecosystems in agroecological transition cultivate native (criollo) maize in association (in *milpa*) with beans, squash, *cempasúchil* flower, and baby's breath. Crop rotation is carried out with one or more of the following: beans, fava beans, oats, barley, and tomato, resulting in a mosaic crop landscape.

Corp fertilization. In both types of agroecosystems, at least two applications of fertility management inputs were applied. In conventional agroecosystems, 60 % of farmers apply between 100 and 250 kg·ha⁻¹ of diammonium phosphate (18-46-00 or DAP) in combination with urea at rates ranging from 200 to 400 kg·ha⁻¹ at the time of sowing. The second fertilization is conducted using only urea, in amounts ranging from 100 to 350 kg·ha⁻¹. Additionally, 15 % of producers apply ammonium phosphate nitrate (31-

Particularmente, Moreno-Calles *et al.* (2013) reportan que, en entrevistas recientes, encontraron que los campesinos de Tlaxcala denominan metepantle al conjunto del espacio de un bancal para la siembra de cultivos y el bordo en donde se establecen especies suculentas, leñosas y semi-leñosas para prevenir la erosión del suelo. Las especies vegetales detectadas en los bordos (sembradas, promovidas o toleradas) de los dos agroecosistemas evaluados coinciden con lo reportado por Moreno-Calles *et al.* (2013). Por su parte, Magdaleno-Miranda *et al.* (2005) identificaron este sistema agroforestal como "árboles en terrenos de cultivo" con la presencia de especies leñosas y con la particularidad de que encontraron que la vegetación circundante permite el intercambio de especies con los bordos.

La estructura en cuestión permite la obtención de una serie de servicios agroecosistémicos como recursos alimenticios, forrajeros, maderables y medicinales. Además, los productores reconocieron que esta estructura facilita la retención de humedad y del suelo. Asimismo, sirven como barreras vivas que pueden contener plagas y disminuir los efectos del viento sobre los cultivos.

Funcionamiento de los agroecosistemas

La caracterización del funcionamiento de los agroecosistemas está basada en la descripción comparativa de las labores culturales reportadas por los entrevistados para ambos tipos de agroecosistemas.

Preparación del terreno para la siembra. En todos los agroecosistemas (convencionales y en transición agroecológica) se practica la labranza mecanizada con tractor, que consiste en barbecho, rastreo y siembra. Solo en algunos casos del modelo convencional se aplican herbicidas preemergentes (antes de la siembra). En agroecosistema en transición se realiza "*la segunda*", que consiste en otro paso de rastra con yunta de bueyes o caballos.

Diversidad de cultivos en los agroecosistemas. En el 100 % de los agroecosistemas convencionales se siembra maíz híbrido bajo monocultivo y en rotación, principalmente con trigo; en pocos casos se rota con haba o frijol. En contraste, en los agroecosistemas en transición agroecológica se siembra maíz criollo en asociación (en *milpa*) con frijol, calabaza, flor de *cempasúchil*, flor nube. La rotación se realiza con alguna

04-00) during the second application. Ten percent use 200 kg of a 21-17-03 formulation enriched with sulfur, magnesium, and zinc. The remaining farmers use custom mixtures containing unspecified potassium sources. In 70 % of conventional agroecosystems, all or part of the crop residues are recycled through tillage, and in 45 % of them, manure is occasionally applied.

Unlike the previous case, in agroecosystems undergoing agroecological transition, 100 % of farmers apply 200 to 1 000 L of worm leachate or bioferments and frequently recycle all or part of the crop residues. Eighty-five percent apply manure, mainly from sheep, but also from cattle, poultry, goats, and rabbits, in unspecified amounts and at varying intervals. Thirty percent also apply 1 to 2.5 t·ha⁻¹ of bocashi or vermicompost. Additionally, 15 % combine organic inputs with DAP and urea, or with urea alone.

Competitor control: Weeds, pests and diseases. One hundred percent of farmers using conventional management apply pesticides. They mainly use herbicides with the active ingredients 2,4-D and atrazine (at doses of 1 kg or 1–1.5 L per hectare, as appropriate), or a mixture of both. They also apply cypermethrin, chlorpyrifos-ethyl, permethrin, and carbofuran to control grasshoppers (*Sphenarium purpurascens*) and white grubs (*Phyllophaga rubella*).

In agroecosystems undergoing agroecological transition, weed management is carried out manually or mechanically (weeding and second using tractor or oxen). Phytosanitary management involves organic inputs such as plant-based preparations, attractants, and entomopathogens, as well as inputs that strengthen the plant, including bioferments (supermagro and biodigester effluent), fish and worm leachates, mountain microorganisms, sodium silicate solution, and sulfur–lime broth. The quantity of inputs applied varies widely, depending on the presence and infestation level of potential pests or diseases. For preventive purposes, doses range from 5 to 10 L·ha⁻¹. For control stages, doses increase to 20 L·ha⁻¹, applied in two or more treatments during the crop cycle.

Harvest and yields. In the conventional model, harvesting is mechanical and takes place in November and December, once the grain is dry, according to farmers' criteria. The average yield is 4 t·ha⁻¹ and depends on moisture availability during the grow-

de las siguientes opciones: frijol, haba, avena, cebada y tomate, creando un paisaje de mosaicos de cultivos.

Fertilización de cultivos. En ambos tipos de agroecosistemas se realizan al menos dos aplicaciones de insumos para el manejo de la fertilidad. En los agroecosistemas convencionales, el 60 % de los agricultores aplica de 100 a 250 kg·ha⁻¹ de fosfato diamónico (18-46-00 o DAP) en combinación con urea en cantidades que van de 200 a 400 kg·ha⁻¹ durante la siembra. La segunda fertilización se realiza solo con urea en un rango de 100 a 350 kg·ha⁻¹. El 15 % de los productores realiza el segundo abonado con fosfonitrato (31-04-00). El 10 % utiliza 200 kg de 21-17-3 con adición de azufre, magnesio y zinc. El resto de los productores hace mezclas con fuentes potásicas no especificadas. En el 70 % de agroecosistemas convencionales se recicla todo o parte del rastrojo mediante la labranza y en el 45 % de ellos se aplica estiércol de manera ocasional.

A diferencia de lo anterior, en los agroecosistemas en transición agroecológica, el 100 % de los agricultores aplica de 200 a 1 000 L de lixiviado de lombriz o bioles, y recicla todo o parte del rastrojo de manera frecuente; el 85 % de ellos aplica estiércol principalmente de ovino (pero también de bovinos, aves, cabras y conejos) en cantidades no especificadas y en diferente periodicidad; el 30 % también aplica de 1 a 2.5 t·ha⁻¹ de bocashi o lombricomposta. Además, el 15 % de ellos combina los insumos orgánicos con DAP y urea, o solo con urea.

Control de competidores: Arvenses, plagas y enfermedades. El 100 % de los agricultores con manejo convencional emplea pesticidas. Utilizan principalmente herbicidas con los ingredientes activos 2,4-D y atrazina (en dosis de 1 kg o de 1-1.5 L por hectárea, según corresponda) o una mezcla de ambos ingredientes. Asimismo, aplican cipermetrina, clorpirifos etil, permetrina, carbofurán, para controlar chapulín (*Sphenarium purpurascens*) y gallina ciega (*Phyllophaga rubella*).

Por su parte, en los agroecosistemas en transición agroecológica se realiza el manejo de arvenses de forma manual o mecánica (escarda y segunda con tractor o yunta). El manejo fitosanitario se realiza mediante insumos orgánicos como preparados vegetales, atrayentes y entomopatógenos, así como opciones para fortalecer la planta como bioles (supermagro y efluente de biodigestor), lixiviado de pescado y de lombriz, microorganismos de montaña, agua de vidrio, y caldo sulfocálcico. La cantidad de insumos apli-

ing season. In years with favorable rainfall, yields may reach up to 7 t·ha⁻¹. The highest recorded yields match those reported by Galvis-Spindola (1990) and Sánchez-Morales & Romero-Arenas (2018), who found that the maximum achievable yield under good rainfall conditions is up to 7 t·ha⁻¹ of maize. These results differ from those reported by INIFAP (2021), which cites maximum yields of around 3.5 t·ha⁻¹.

In the agroecological model, plants are heaped in the field to dry and are harvested gradually, according to the family's needs and the grain's moisture content. Mechanical shellers are sometimes used. The average yield is 2 t·ha⁻¹, with a maximum of 3.5 t·ha⁻¹ in years with favorable rainfall.

The technological features described for both types of agroecosystems confirm the findings of Damián-Huato *et al.* (2010) and INIFAP (2021), indicating that this is peasant agriculture with low levels of mechanization. Peasants combine conventional agricultural technologies, traditional practices, and agroecological innovations with certain trends. For example, agroecological agriculture, also called peasant agriculture by Damián-Huato *et al.* (2007), is characterized by the use of native maize, crop association and rotation, manure application, and soil conservation. In contrast, the conventional model prioritizes the use of improved seeds, chemical fertilizers, and pesticides. Both models employ mechanization, crop rotation, residue recycling, and manure application. In recent years, the agroecological transition model has promoted nutrient recycling through the production and use of solid and liquid organic fertilizers derived from available residues, as well as the preparation and application of plant and mineral extracts for competitor management.

The results indicate that agroecosystems in agroecological transition originate from peasant agriculture models with a tendency toward conventional technology (monocultures with improved seeds, chemical inputs, and mechanization). They reintegrate traditional technology (manure use, crop associations and rotations, and animal traction) and incorporate agroecological innovations such as replacing agrochemicals with bioinputs and redesigning the agroecosystem through diversification of associations and rotations, as well as the utilization of gathered and household resources. As Tiftonell (2015) notes,

cados es muy variable, pues depende de la presencia y nivel de infestación de organismos potencialmente plaga o enfermedad. En el nivel preventivo las cantidades van de 5 a 10 L·ha⁻¹ y para etapas de control se incrementa a 20 L·ha⁻¹ en dos o más aplicaciones durante el ciclo de cultivo.

Cosecha y rendimientos. En el modelo convencional, la cosecha es mecánica durante los meses de noviembre y diciembre, cuando el grano ya está seco, según el criterio de los productores. El rendimiento promedio es de 4 t·ha⁻¹ y depende de la disponibilidad de humedad durante el ciclo agrícola, por lo que en años de buen temporal se pueden alcanzar hasta 7 t·ha⁻¹. Los rendimientos máximos alcanzados coinciden con los reportados por Galvis-Spindola (1990) y Sánchez-Morales & Romero-Arenas (2018), quienes encontraron que el rendimiento máximo alcanzable en condiciones de buen temporal es de hasta 7 t·ha⁻¹ de maíz, y difieren con lo establecido por INIFAP (2021), que reporta máximos cercanos a las 3.5 t·ha⁻¹.

En el modelo agroecológico las plantas se amontonan en forma de mogote, para que se sequen en el campo, y se cosechen paulatinamente según las necesidades de la familia y el estado de humedad del grano. En ocasiones, también se recurre a la desgranadora mecánica. El rendimiento promedio es de 2 t·ha⁻¹ y se alcanza un máximo de 3.5 t·ha⁻¹ en años con buen temporal.

Los rasgos tecnológicos descritos para ambos tipos de agroecosistemas confirman lo establecido por Damián-Huato *et al.* (2010) e INIFAP (2021) en el sentido de que se trata de una agricultura campesina con baja tecnificación. Asimismo, se observa que los agricultores combinan tecnologías de la agricultura convencional, de la tecnología tradicional e innovaciones agroecológicas con ciertas tendencias. Por ejemplo, en la agricultura agroecológica, también llamada agricultura campesina por Damián-Huato *et al.* (2007), se caracteriza por el uso de maíz criollo, la asociación y rotación de cultivos, el uso de estiércol y la conservación de suelos, mientras que el modelo convencional privilegia el uso de semillas mejoradas, fertilizantes químicos y pesticidas. Ambos modelos recurren a la mecanización, la rotación de cultivos, el reciclaje de residuos y el estercolamiento. En los últimos años, el modelo de transición agroecológica ha promovido el reciclaje de nutrimentos mediante la elaboración y aprovechamiento de abonos orgánicos sólidos y líqui-

agroecological transitions are also aimed at restoring ecosystem functions after disturbance by recovering ancestral practices and incorporating innovations designed to improve efficiency and productivity.

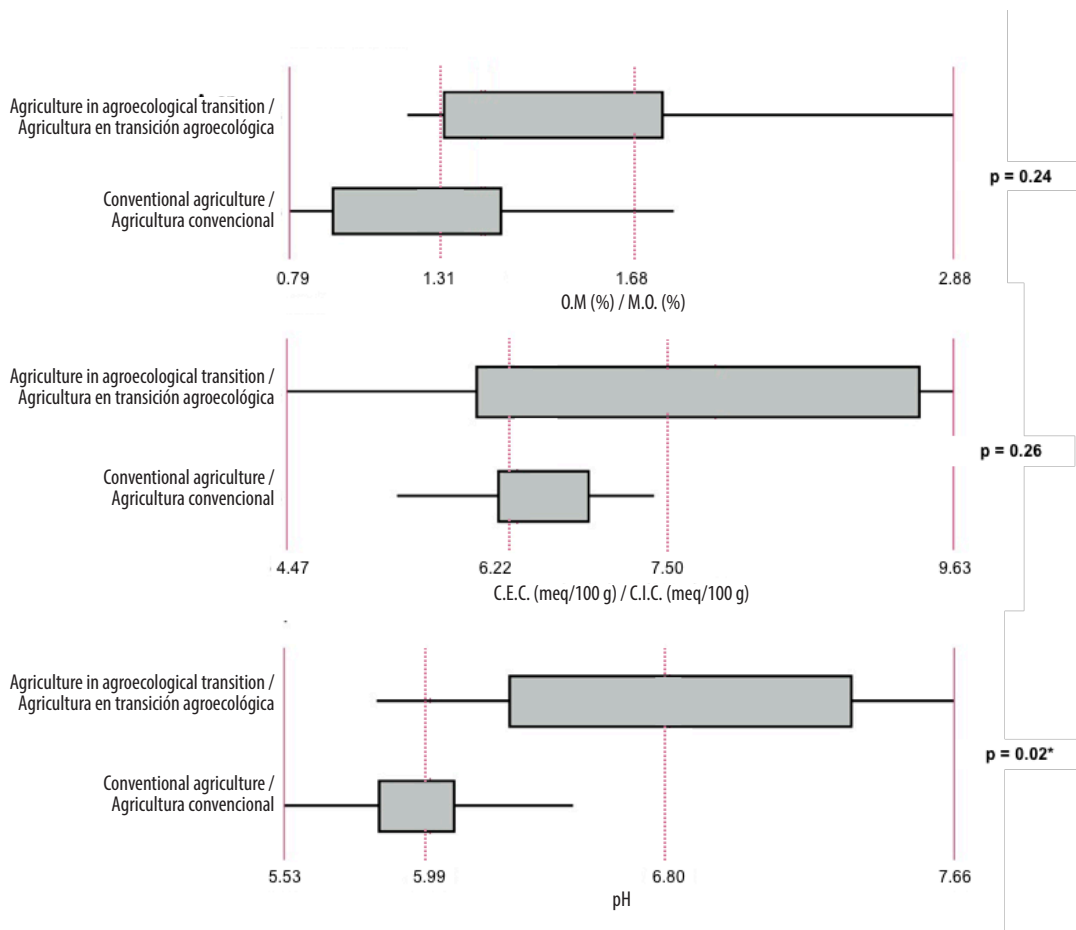
Physical and chemical soil conditions. In both types of agroecosystems, the organic matter content is moderately low. However, in agroecosystems under agroecological transition, the OM content is slightly higher than in conventional systems, with averages of 1.68 % and 1.31 %, respectively, although the difference is not statistically significant (Figure 1). In transitional agroecosystems, values reach up to 2.88 %,

dos a partir de residuos disponibles, así como la obtención y aplicación de extractos vegetales y minerales para el manejo de competidores.

Los resultados indican que los agroecosistemas en transición agroecológica parten de modelos de agricultura campesina con tendencia a la tecnología convencional (monocultivos con semillas mejoradas, insumos químicos y mecanización), reincorporan tecnología tradicional (uso de estiércol, asociaciones y rotaciones y tracción animal) e incorporan innovaciones agroecológicas como la sustitución de agroquímicos por bioinsumos y el rediseño del agroecosistema mediante la di-

Figure 1. Comparison of soil properties: organic matter, cation exchange capacity, and pH in two types of agroecosystems.

Figura 1. Comparación de las propiedades del suelo: Materia orgánica, Capacidad de Intercambio Catiónico y pH en dos tipos de agroecosistemas.



NOTE: The whiskers represent minimum and maximum values; the boxes represent the 25th–75th percentile range; the dotted lines indicate the mean values. The Mann–Whitney U test was used to detect differences between the parameters analyzed ($P < 0.05^*$).

NOTA: Los bigotes representan los valores mínimos y máximos, los recuadros representan rangos del 25-75 %, las líneas punteadas representan las medias. Se utilizó la prueba U de Mann-Whitney para detectar diferencias entre los parámetros examinados ($P < 0,05^*$).

which is attributed to the incorporation of manure, recycling of crop residues, and compost application. This increase in OM is important, as it enhances the retention of potentially toxic elements (PTEs) in the soil (Alloway, 2013) and reduces their bioavailability (Rashid *et al.*, 2023).

The pH in the surface soil layer of conventional agroecosystems is moderately acidic, with an average value of 5.99. In contrast, agroecosystems in transition exhibit a neutral pH, with an average value of 6.76, which was statistically different (Figure 1). This difference is relevant, as pH values closer to neutrality prevent the formation of available forms of PTEs, thereby reducing their uptake by crops (Alloway, 2013; Rashid *et al.*, 2023). Therefore, the application of agroecological practices could help prevent contamination of harvested and consumed products by these elements.

The cation exchange capacity (CEC) in the surface soil layer of both types of agroecosystems is low, consistent with the loam texture reported by the laboratory. As with organic matter and pH, CEC is higher in agroecosystems in transition compared to conventional ones, with average values of 7.50 and 6.22 $\text{Cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively, although the difference was not statistically significant (Figure 1).

In summary, the higher organic matter content, neutral pH, and greater cation exchange capacity in the soil of agroecosystems in transition provide better conditions to buffer the effects of PTEs on food production, compared to soil conditions in conventional agroecosystems.

Potentially Toxic Elements (PTEs) in Agroecosystems

The laboratory report indicated that in the 20 sampled sites, the concentrations of As, Cd, and Be were below the practical quantification limits of the analytical methods used. Therefore, these elements are either absent or present in very low concentrations in the study area. As a result, there is no risk of contamination from these PTEs. These findings differ from those reported by Castro-González *et al.* (2019), who found As and Cd concentrations of 5.3 and 1.2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively, in the south-central area of the watershed. It is also possible that these agroecosystems are not the source of Cd and As previously identified as health risks in biomonitoring studies conducted by CONAHCYT (2023).

versificación de asociaciones y rotaciones, así como el aprovechamiento de recursos de recolección y casa. Como lo indica Tiftonell (2015) las transiciones agroecológicas también están orientadas a restaurar funciones después de una perturbación a partir de la recuperación de prácticas ancestrales y a incorporar innovaciones dirigidas a mejorar eficiencia y productividad.

Condiciones físicas y químicas del suelo. En ambos tipos de agroecosistemas, el porcentaje de MO es moderadamente bajo, sin embargo, en los agroecosistemas en transición agroecológica el contenido es ligeramente mayor que en los convencionales con promedio de 1.68 y 1.31 respectivamente, aunque sin diferencias significativas (Figura 1). En los agroecosistemas en transición se presentan valores que alcanzan hasta el 2.88 % lo que responde a la incorporación de estiércol, el reciclaje de los residuos de cosecha y la aplicación de compost. Este incremento de MO es importante, porque facilitan una mayor retención de EPT dentro del suelo (Alloway, 2013) y reducen su biodisponibilidad (Rashid *et al.*, 2023).

El pH en la capa superficial del suelo en los agroecosistemas convencionales es moderadamente ácido, con un valor promedio de 5.99. En contraste, en los agroecosistemas en transición, el pH se califica como neutro con un valor promedio de 6.76, lo que fue estadísticamente diferente (Figura 1). Esta diferencia es relevante, ya que valores de pH más cercanos a la neutralidad previenen la generación de formas disponibles de EPT, reduciendo en consecuencia la absorción por los cultivos (Alloway, 2013; Rashid *et al.*, 2023). Por lo anterior, la aplicación de prácticas agroecológicas podría prevenir la contaminación, por estos elementos, de productos cosechados y aprovechados.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) en la capa superficial del suelo de ambos tipos de agroecosistemas es baja, en concordancia con la textura franca reportada por el laboratorio. Tal y como ocurre con la MO y el pH, la CIC es más alta en agroecosistemas en transición en comparación con los convencionales cuyos valores ($\text{Cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) en promedio son 7.50 y 6.22 respectivamente, aunque no se encontraron diferencias significativas (Figura 1).

En conjunto, las condiciones de mayor contenido de MO, pH neutro y mayor valor de CIC en el suelo de agroecosistemas en transición, confieren mejores posibilidades de amortiguar el efecto de EPT sobre la pro-

The PTEs Ni, Co, Ba, Cr, Pb, Al, and Si were detected in all agroecosystems at concentrations above the practical quantification limits. However, the concentrations of the first five elements were well below the Maximum Allowable Concentrations established by both national and international standards. Therefore, according to the guidelines of the Mexican Standard (SEMARNAT, 2007), no remediation actions are required (see Table 2). The concentrations recorded are similar to those reported by Castro-González et al. (2019), except for Co, which was slightly higher (by one part per million). Given the low Pb concentrations found in the surface layer of the agroecosystems, compared to the MAC values set by national and international regulations, it can be concluded that agricultural soils are not the source of Pb exposure in individuals with chronic kidney disease, as reported by CONAHCYT (2023).

No MAC standards were identified at the national or international level for silica and aluminum. Therefore, the report by the Oregon Division of Occupational Safety and Health (n.d.) was consulted. This report indicates health risks for workers exposed to soil residues, minerals, and construction materials containing crystalline Si above 0.1 % ($1000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). However, the results obtained (Figure 3) do not exceed this threshold, indicating no health risks and no need for soil remediation measures.

Regarding aluminum, the Environmental Protection Agency (EPA, 2023) states that accurately assessing its toxicity is difficult. Consequently, it recommends measuring soil pH as an alternative, since soluble forms of aluminum are toxic in soils with pH below 5.5. Therefore, aluminum content is not a concern, as the average pH of 5.99 is slightly acidic in conventional agroecosystem soils, and a pH of 6.76 is neutral in soils under agroecological transition. Only two conventional agroecosystems showed pH levels of 5.23 and 5.53, which could potentially contain soluble and toxic forms of aluminum.

The concentrations of each PTE showed no significant differences based on the type of agroecosystem (conventional or in agroecological transition) (Figures 2 and 3). Therefore, it can be assumed that the agroecosystems studied do not represent a source of PTEs associated with diseases in the population but rather provide safe food. As noted by Volke-Sepúlveda et al.

ducción de alimentos, en comparación con las condiciones del suelo en agroecosistemas convencionales.

Elementos potencialmente tóxicos (EPT) en los agroecosistemas

El informe del laboratorio indicó que en los 20 lugares muestreados la concentración de As, Cd y Be es inferior al límite de cuantificación práctico de los métodos utilizados para su determinación, por lo que no se encuentran en el área de estudio o están en concentraciones muy bajas. Por lo tanto, no hay riesgo de contaminación por esos EPT. Estos resultados difieren del reporte de Castro-González et al. (2019) quienes encontraron As y Cd en concentraciones de 5.3 y $1.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ respectivamente, en la zona centro sur de la cuenca. Asimismo, es posible que estos agroecosistemas no sean la fuente de Cd y As registrados como de riesgo para la salud en los biomonitoreos realizados por CONAHCYT (2023).

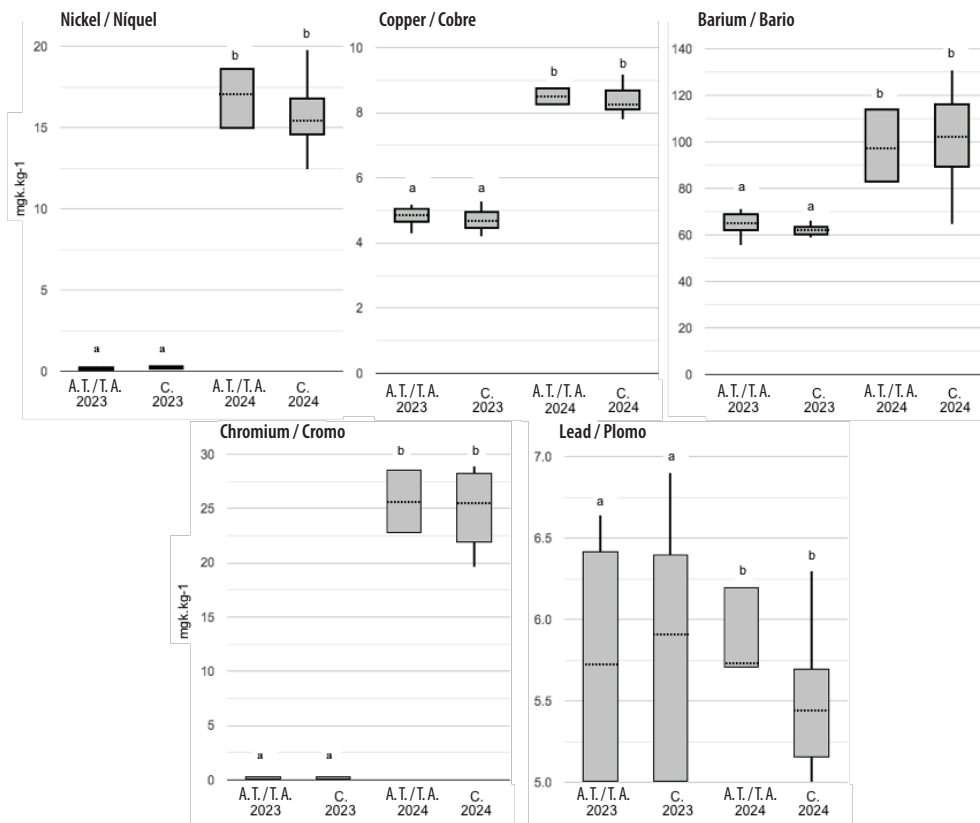
Los EPT Ni, Co, Ba, Cr, Pb, Al y Si se identificaron en todos los agroecosistemas en concentraciones superiores a los límites de cuantificación práctica. La concentración de los primeros cinco elementos se encuentra muy por debajo de las CMA establecidas por la normativa nacional e internacional. Por lo tanto, de acuerdo con los lineamientos de la Norma Mexicana (SEMARNAT, 2007) no se requieren acciones de remediación (Cuadro 2). Las concentraciones registradas son similares a las reportadas por Castro-González et al. (2019) y solo el Co se encuentra en mayor cantidad (en solo una parte por millón). Dado la baja concentración de Pb encontrada en la capa superficial de los agroecosistemas, comparada con los valores de CMA de la normatividad nacional e internacional, es posible indicar que el suelo agrícola no es la fuente de Pb en personas con enfermedad renal crónica reportada por CONAHCYT (2023).

No se identificaron normas de CMA, a nivel nacional e internacional, para la sílice y el aluminio. Por ello, se recurrió al reporte de la División de Seguridad y Salud Laboral de Oregón (s/f) en donde se indica que existen riesgos para la salud de los trabajadores que están expuestos a residuos de suelo, minerales y materiales de construcción con un contenido de Si cristalino superior a 0.1 % ($1000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). No obstante, los resultados obtenidos (Figura 3) no superan esa cantidad máxima, lo que indica que no existen riesgos para la salud y que no se requieren medidas de remediación de suelos.

Table 2. PTE content (ppm) in soils from two types of maize agroecosystems.
Cuadro 2. Contenido de EPT (ppm) en suelos de dos tipos de agroecosistemas de maíz.

PTE / EPT	Agroecosystems (mean ± σ) / Agroecosistemas (media ± σ)				MAC according to the Mexican Standard / CMA de la Norma Mexicana	CMA According to International Standards / CMA normas internacionales
	Agroecological transition / En transición agroecológica		Conventional / Convencional			
Nickel / Níquel	5.79	±9.61	9.14	±8.11	1 600	30-100
Cobalt / Cobalto	6.06	±1.92	6.67	±1.91	-	25-50
Barium / Bario	76.51	±20.46	83.5	±27.18	5 400	-
Chromium / Cromo	8.75	±13.22	15.48	±12.33	280	50-200
Aluminum / Aluminio	6,316.31	±10,181.44	11,742.92	±10,986.31	-	-
Lead / Plomo	5.79	± 0.68	5.58	±0.59	400	50-500
Silicon / Silicio	78.40	±22.35	93.25	±44.50	-	-

Figure 2. Box plots of Nickel, Copper, Barium, Chromium, and Lead concentrations in soils from two types of agroecosystems during two evaluation periods: 2023 and 2024.
Figura 2. Diagramas de caja de las cantidades de Níquel, Cobre, Bario, Cromo y Plomo presentes en suelo en dos tipos de agroecosistemas en dos periodos de evaluación: 2023 y 2024.

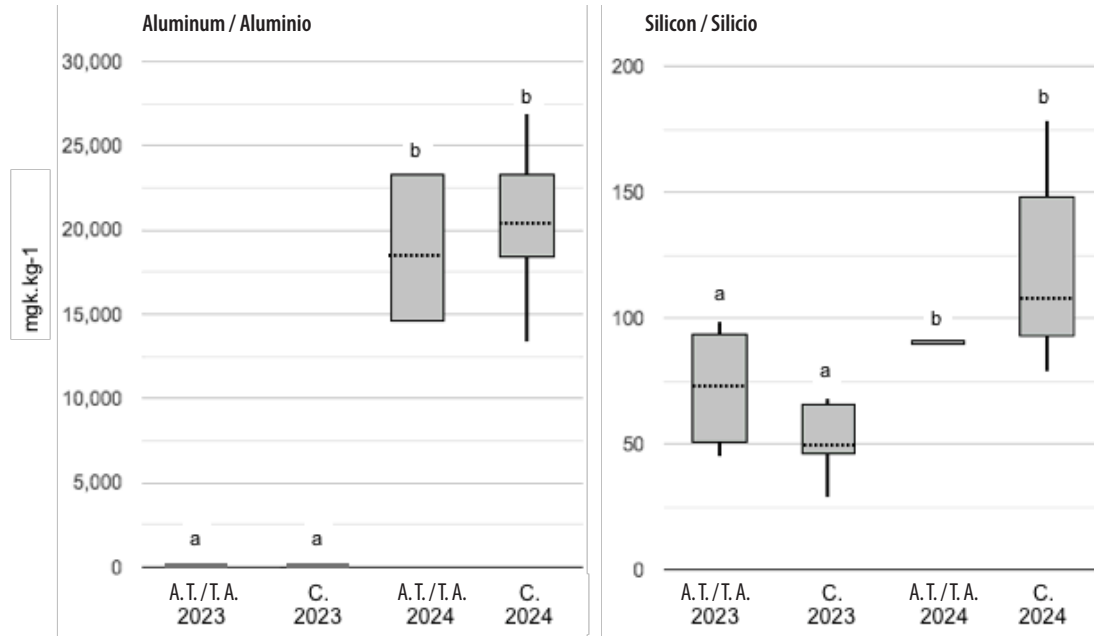


NOTE: Whiskers represent minimum and maximum values; boxes represent the 25–75 % range; dotted lines indicate means. The Mann-Whitney U test was used to detect differences. Different letters indicate significant differences at $P \leq 0.05$.

NOTA: Los bigotes representan los valores mínimos y máximos, los recuadros representan rangos del 25-75 %, las líneas punteadas representan las medias. Se utilizó la prueba U de Mann-Whitney para detectar diferencias. Las letras distintas indican diferencias significativas con una $P \leq 0,05$.

Figure 3. Box plots of Aluminum and Silicon concentrations in soil in two types of agroecosystems during two evaluation periods: 2023 and 2024.

Figura 3. Diagramas de caja de las cantidades de Aluminio y Silicio presentes en suelo en dos tipos de agroecosistemas en dos periodos de evaluación: 2023 y 2024.



NOTE: Whiskers represent minimum and maximum values; boxes represent the 25–75 % range; dotted lines indicate means. The Mann-Whitney U test was used to detect differences. Different letters indicate significant differences at $P \leq 0.05$.

NOTA: Los bigotes representan los valores mínimos y máximos, los recuadros representan rangos del 25-75 %, las líneas punteadas representan las medias. Se utilizó la prueba U de Mann-Whitney para detectar diferencias. Las letras distintas indican diferencias significativas con una $P \leq 0.05$.

(2005) and Rodríguez-Eugenio et al. (2019), the seven PTEs found in this study occur naturally worldwide, and in no case do their levels exceed the limits established by current regulations due to anthropogenic activity.

Furthermore, there is agreement with the findings of INIFAP (2021) and Damián-Huato et al. (2007) regarding the characterization of the agricultural system as low-input (both chemical and organic). Therefore, the contribution of PTEs plays a minimal role in the accumulation process that could pose risks to human and environmental health (Martí et al., 2002; Dueñas-Rivadeneira e Intriago, 2022).

Another factor to consider is the input of PTEs through volcanic eruptions and wind-transported dust particles. Peasants reported the fallout of volcanic ash from emissions of the Popocatepetl volcano, especially in 2023 (also documented by CENAPRED, 2023), as well as the presence of dust caused by whirlwinds during the first half of each year. These events

En cuanto al aluminio, la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) (2023) indica que es difícil evaluar con precisión su toxicidad. En consecuencia, recomienda medir el pH del suelo como alternativa, dado que las formas solubles son tóxicas en suelos con pH inferiores a 5.5. Por lo tanto, el contenido de aluminio no es motivo de preocupación, ya que el pH medio de 5.99 es ligeramente ácido para los suelos de agroecosistemas convencionales y el pH, de 6.76, es neutro en suelos con agroecosistemas en transición agroecológica, excepto en dos agroecosistemas convencionales con niveles de pH de 5.23 y 5.53, que potencialmente podrían contener formas solubles y tóxicas de aluminio.

Las concentraciones de cada uno de los EPT no mostraron diferencias significativas según el tipo de agroecosistema (convencional o en transición agroecológica) (Figura 2 y 3). Por tanto, puede suponerse que los agroecosistemas evaluados no constituyen

may explain why the laboratory reported higher PTE concentrations (Figures 2 and 3) in the agroecosystems sampled in 2023. As Santamaría-Juárez *et al.* (2022) indicate, volcanic ash contains metals such as Cr, Fe, Zn, Mn, Mg, Cu, Ni, and other elements including Al and Si. Therefore, ash levels are a determining factor in the total amount of PTEs present in the area.

Despite this, the presence of PTEs—even at low soil concentrations—could allow bioaccumulation in plant and animal species incorporated into the family diet (Rodríguez-Eugenio *et al.*, 2019). Thus, it is necessary to apply technologies aimed both at reducing contamination sources and increasing the soil's buffering capacity. In this regard, although no significant differences were observed between agroecosystem types, PTE levels were on average lower in agroecosystems under agroecological transition (Figures 2 and 3) and showed a greater soil buffering capacity. The potential to retain PTEs is attributed to the neutral pH and higher contents of organic matter and cation exchange capacity (CEC) compared to conventional agroecosystems. This results in a higher likelihood of PTE retention in the organic fraction and a lower rate of transformation into bioavailable forms.

Despite this, the presence of PTEs, even at low soil concentrations, could allow bioaccumulation in plant and animal species incorporated into the family diet (Rodríguez-Eugenio *et al.*, 2019). Thus, it is necessary to apply technologies aimed both at reducing contamination sources and increasing the soil's buffering capacity. In this regard, although no significant differences were observed between agroecosystems, PTE levels were on average lower in agroecosystems under agroecological transition (Figures 2 and 3) and showed a greater soil buffering capacity. The potential to retain PTEs is attributed to the neutral pH and higher contents of organic matter and cation exchange capacity compared to conventional agroecosystems. This results in a higher likelihood of PTE retention in the organic fraction and a lower rate of transformation into bioavailable forms (Alloway, 2013; Rodríguez-Eugenio *et al.*, 2019; Rashid *et al.*, 2023).

Conclusions

Agroecosystems in Españita differ by the cultivated genetic resource and the type of input used for fertilization (synthetic or organic) and weed control. Con-

una causa de EPT asociada a enfermedades en la población, sino que son una fuente de alimentos sanos. Tal y como lo indican Volke-Sepúlveda *et al.* (2005) y Rodríguez-Eugenio *et al.* (2019), los siete EPT encontrados en este estudio se encuentran de manera natural como en cualquier lugar del planeta y en ningún caso se rebasan los límites establecidos por la normatividad vigente debido a la actividad antrópica.

Asimismo, existe consenso con los hallazgos de INIFAP (2021) y Damián-Huato *et al.* (2007) en cuanto a la caracterización del sistema agrícola como de bajos insumos (tanto químicos como orgánicos). Por lo tanto, el aporte de EPT juega un papel mínimo en el proceso de acumulación que puede poner en riesgo la salud humana y ambiental (Martí *et al.*, 2002; Dueñas-Rivadeneira e Intriago, 2022).

Otro factor para considerar es la aportación de EPT a través de erupciones volcánicas y de partículas de polvo transportadas por el viento. Al respecto, los productores observaron la caída de ceniza volcánica proveniente de las exhalaciones del volcán Popocatepetl, sobre todo en el año 2023 (también reportada por CENAPRED, 2023) así como la presencia de polvo debido a remolinos durante el primer semestre de cada año. Es posible que estos hechos hayan sido la causa de que el laboratorio haya reportado concentraciones mayores de EPT (Figuras 2 y 3) en los agroecosistemas muestreados en 2023. Como lo indican Santamaría-Juárez *et al.* (2022) la ceniza está compuesta por metales como Cr, Fe, Zn, Mn, Mg, Cu, Ni y otros elementos como Al y Si. Por consiguiente, los niveles de cenizas son un factor determinante de la cantidad total de EPT presentes en la zona.

A pesar de lo anterior, la presencia de EPT, incluso en bajas concentraciones en el suelo, podría permitir la bioacumulación en especies vegetales y animales incorporadas a la dieta familiar (Rodríguez-Eugenio *et al.*, 2019). Por lo tanto, es necesario aplicar tecnologías dirigidas tanto a reducir las fuentes de contaminación como a aumentar la capacidad de amortiguamiento del suelo. En este sentido, aunque no se observaron diferencias significativas entre los tipos de agroecosistemas, los EPT fueron en promedio más bajos en los agroecosistemas en transición agroecológica (Figuras 2 y 3) y presentaron una mayor capacidad de amortiguamiento del suelo. La posibilidad de retener los EPT se debe a que el pH es neutro y a que los contenidos de M.O. y C.I.C son mayores que en los agroecosistemas

ventional agroecosystems grow hybrid maize under monoculture conditions, using chemical fertilizers and pesticides. In contrast, agroecological transition systems grow native maize in association with other species, apply agroecological practices, and use organic products for fertilization and plant health, along with mechanical weed control. Both systems rely on mechanization for soil preparation, crop rotation, manure application, incorporation of crop residues, coexistence with woody species along ridges and edges, and, to varying degrees, the use of residues for forage and wild species for human consumption. Therefore, it can be concluded that both types of agroecosystems contain various elements of agroecological transition that can be further enhanced.

The data indicates that neither of the two agroecosystem types studied has a significant impact on the anthropogenic accumulation of potentially toxic elements. Of the ten elements analyzed by the laboratory, the concentrations of three (As, Cd, and Be) were below the practical quantification limit. Five elements (Ni, Co, Ba, Cr, and Pb) did not exceed the maximum acceptable concentrations established by current national and international regulations, and two elements (Si and Al) are not subject to regulatory standards.

Given the level of agroecological transition in the evaluated agroecosystems and the relatively short period (two to eight years) since the replacement of synthetic inputs with organic ones, it is not yet evident whether this shift has contributed to preventing soil contamination by anthropogenic accumulation of potentially toxic elements (PTEs). Similarly, there is a noticeable trend toward improved soil buffering capacity, influenced by organic matter content, cation exchange capacity, and pH levels in agroecological systems.

Based on the above, it is recommended to reassess the levels of agroecological transition in the agricultural production of the studied communities, to identify and enhance traditional agroecological practices related to agroforestry. These practices include increasing and diversifying plant cover along ridges and field edges, diversifying crop rotations, promoting interactions with livestock (such as manure use and the use of residues and weeds as forage), and producing

convencionales. Esto se traduce en una mayor probabilidad de retención de EPT en la fracción orgánica y menor tasa de transformación a formas biodisponibles (Alloway, 2013; Rodríguez-Eugenio et al., 2019; Rashid et al., 2023).

Conclusiones

Los agroecosistemas en Españita se diferencian por el recurso genético cultivado y el tipo de insumo utilizado para la fertilización (síntesis química u orgánica) y el control de competidores. Los agroecosistemas convencionales cultivan maíz híbrido en monocultivo con fertilización química y uso de pesticidas. En cambio, los agroecosistemas en transición agroecológica cultivan maíz criollo en asociación con otras especies, emplean prácticas agroecológicas y emplean productos orgánicos para la fertilización y el control fitosanitario, además, realizan control mecánico de arvenses. Ambos sistemas recurren a la mecanización para la preparación del suelo, la rotación de cultivos, el estercolamiento, la reincorporación de residuos de cosecha, la convivencia con especies lignarias en bordos y linderos y, en mayor o menor medida, el aprovechamiento de residuos para forraje y de especies silvestres para la alimentación humana. Por tanto, se puede concluir que en ambos tipos de agroecosistemas se encuentran diferentes elementos de transición agroecológica, las cuales pueden potenciarse.

Se puede afirmar que, con los datos generados, ninguno de los dos tipos de agroecosistema en cuestión ejerce una influencia significativa en la acumulación antropogénica de elementos potencialmente tóxicos. De los diez elementos analizados por el laboratorio, las concentraciones de tres de ellos (As, Cd y Be) están por debajo del límite práctico de cuantificación. Cinco elementos (Ni, Co, Ba, Cr y Pb) no superan las concentraciones máximas aceptables indicadas por las normativas nacionales e internacionales vigentes, y dos elementos (Si y Al) no disponen de normas para su regulación.

Dado el nivel de transición agroecológica de los agroecosistemas evaluados y el periodo de tiempo relativamente corto (de dos a ocho años) en el que se ha producido la sustitución de insumos de síntesis química por insumos orgánicos, aún no es evidente si ello ha repercutido en la prevención de la contaminación

and applying organic inputs derived from household and farm solid and liquid waste, among others.

The design of agroecosystem structure and function should aim to prevent soil contamination by potentially toxic elements from anthropogenic activities and to improve the buffering capacity of both the soil and the agroecosystem as a whole. This is essential to minimize the uptake and accumulation of potentially toxic elements in harvested products, as well as in the wide range of wild species that are gathered and used.

It is important to note that greater efforts are still needed to support the agroecological transition among families in the studied communities, to scale up this productive approach.

Finally, given the prevalence of human diseases linked to potentially toxic elements in the region, it is necessary to expand the number of cases studied and investigate other possible sources of these contaminants—such as applied pesticides, nearby water streams, and industrial, urban, and transportation activities—that contribute particulate matter, which is carried by wind and deposited through gravity and rainfall in the families' surroundings.

End of English version

References / Referencias

- Alvarado-Cardona, M., Colmenero-Robles, J. A., & Valderrábano-Almegua, M. D. L. L. (2007). La erosión hídrica del suelo en un contexto ambiental, en el Estado de Tlaxcala, México. *Ciencia Ergo Sum*, 14(3), 317-326.
- Alloway, B. J. (2013). *Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils*. En: Alloway, B. (ed.) *Heavy Metals in Soils*. Environmental Pollution (Vol. 22, pp. 11-50). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_2.
- Belmonte-Serrato, F., Romero-Díaz, A., Alonso-Sarría, F., Moreno-Brotóns, J., & Rojo-López, S. (2010). Afección de suelos agrícolas por metales pesados en áreas limítrofes a explotaciones mineras del Sureste de España. *Papeles de Geografía*, (51-52), 45-54.
- Castellanos J. Z., Uvalle B., J. X., & Aguilar S., A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. 2ª ed. Colección IN-CAPA. México.

del suelo por acumulación antropogénica de EPT. Del mismo modo, se identifica una tendencia de mejora en la capacidad de amortiguamiento del suelo, resultante de la influencia del contenido de materia orgánica, de la capacidad de intercambio catiónico y del valor de pH en los agroecosistemas agroecológicos.

Por lo anterior, se recomienda reconsiderar los niveles de transición agroecológica en la producción agrícola de las comunidades estudiadas, para identificar y maximizar las prácticas agroecológicas tradicionales relacionadas con la agroforestería. Dichas prácticas incluyen el incremento y la diversificación de la cobertura vegetal en bordos y linderos, la diversificación de las rotaciones, la promoción de interacciones con el componente animal (como el aprovechamiento del estiércol y el uso forrajero de residuos y arvenses), la producción y uso de insumos orgánicos a partir de residuos sólidos y líquidos del hogar y la parcela, entre otros.

El diseño de la estructura y el funcionamiento de los agroecosistemas debe orientarse a la prevención de la contaminación del suelo por elementos potencialmente tóxicos procedentes de actividades antropogénicas, así como a la mejora de la capacidad de amortiguación del suelo y del agroecosistema en su conjunto. Todo ello con el fin de minimizar la absorción y acumulación de elementos potencialmente tóxicos en los productos cosechados, así como en la extensa lista de especies silvestres recolectadas y aprovechadas.

Es necesario comentar que aún se requiere mayor esfuerzo en la gestión de la transición agroecológica entre las familias de las comunidades estudiadas, a fin de escalar esta opción productiva.

Finalmente, dada la prevalencia de enfermedades humanas asociadas a elementos potencialmente tóxicos en la región estudiada, es necesario ampliar el número de casos estudiados, así como investigar otras posibles fuentes de estos contaminantes como los pesticidas aplicados, las corrientes de agua cercanas, las actividades industriales, urbanas y de transporte, mismas que aportan material particulado, que son transportados por el viento y depositados por gravedad y precipitaciones en el entorno de las familias.

Fin de la versión en español

- Castro-González, N. P., Calderón-Sánchez, F., Moreno-Rojas, R. I., Tamariz-Flores, J. V., & Reyes-Cervantes, E. (2019). Nivel de contaminación de metales y arsénico en aguas residuales y suelos en la subcuenca del Alto Balsas en Tlaxcala y Puebla, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(2), 335-348. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.02.06>.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2023). Actividad del volcán Popocatepetl 2023. https://www.cenapred.unam.mx/DatosAbiertos/Informe_Popocat%C3%A9petl_Anuual_2023. [Archivo PDF].
- Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT). (2023). *1er Informe estratégico. Cuenca del alto Atoyac (Tlaxcala y Puebla): Región de Emergencia Sanitaria y Ambiental; Problemática Socioambiental y recomendaciones para su atención integral*. <https://cdn.conahcyt.mx/enis/toxicologia/resa-atoyac/inicio/descargables/informe-caa.pdf>.
- Damián-Huato, M. A., Ramírez-Valverde, B., Parra-Inzunza, F., Paredes-Sánchez, J. A., Gil-Muñoz, A., López-Olguín, J. F., & Cruz-León, A. (2007). Tecnología agrícola y territorio: el caso de los productores de maíz de Tlaxcala, México. *Investigaciones Geográficas*, (63), 36-55. <https://doi.org/10.14350/rig.29909>.
- Damián-Huato, M. A., Ramírez-Valverde, B., Aragón-García, A., Huerta-Lara, M., Sangerman-Jarquín, D. M. de J., & Romero-Arenas, O. (2010). Manejo del maíz en el estado de Tlaxcala, México: entre lo convencional y lo agroecológico. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 6 (2), 67-76.
- Dueñas-Rivadeneira, J. P., & Intriago-Flor, F. G. (2022). Contenido de metales pesados (Cu, Pb, Ni, Cd) en abonos orgánicos y las materias primas para su elaboración. *La Técnica. Revista De Las Agrociencias*, 12(1), 62-67. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i27.3674.
- Fernández-González, C. (2021). Reporte: *Diagnóstico agroecológico del Sistema Alimentario local de familias del Centro de Economía Social Julián Garcés A.C.* CONACYT. Centro de Economía Social Julián Garcés.
- Flores-Domínguez, A. D., & Priego-Santander, A. G. (2021). Capítulo 2. *Caracterización físico-geográfica del paisaje en la microcuenca Atoyac-Xochiac, subcuenca Alto Balsas*. En: Ávila-Orta, C.A., Hernández-Rodríguez, M. de L., Lozano Morales S.A., (Coord.). *Río Atoyac: Hacia una gestión integral de una problemática multifactorial*. (pp. 55-80). El Colegio de Tlaxcala, A. C.
- Galvis-Spindola, A. (1990). *Validación de las normas de fertilización de N y P estimado con un modelo simplificado para maíz, con las dosis obtenidas en la experimentación de campo*. [Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados]. México.
- IBM SPSS. (2012). *Advanced Statistics 21* [software]. SPSS Inc.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010. Españaita, Tlaxcala*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexico-cifras/datos_geograficos/29/29012.pdf.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2021). *Informe anual de actividades en el CIR-CENTRO, 2021. Reporte Anual 2021 Ciencia y Tecnología para el Campo Mexicano*. <https://www.gob.mx/inifap/documentos/reportes-anual-circe-tlaxcala-2021>.
- Magdaleno-Miranda, L., García-Moya, E., Valdéz-Hernández, J. I., & de la Cruz-Isidro, V. (2005). Evaluación del sistema agroforestal "árboles en terrenos de cultivo", en Vicente Guerrero, Tlaxcala, México. *Revista. Fitotecnia mexicana*. 28 (3), 203-212. <https://doi.org/10.35196/rfm.2005.3.203>.
- Martí L., Burba J., N., & Cavagnaro M. (2002). Metales pesados en fertilizantes fosfatados, nitrogenados y mixtos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo*, 34(2), 43-48.
- Méndez-Cervantes, J. E. (2022). *Sistemas agroforestales con metepantle y sus aportes socioeconómicos a comunidades campesinas de Españaita, Tlaxcala*. [Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Chapingo]. Repositorio Chapingo. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/0b302d65-69ec-4477-9819-79cd0abf7228/content>.
- Méndez Serrano, A., Rosas Landa, O., Martínez Rodríguez, A., Galicia Alonso I., González Juárez, G., Olvera Carvajal, A. E., Rosado Zaidi, S. J., Hernández García, M. G., & López Santos, J. D., Lara Vázquez, A. (2017). *Síntesis de la Recomendación 10/2017 de la Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH)*. Tlaxcala, México: Centro "Fray Julián Garcés", Derechos Humanos y Desarrollo Local A.C. <https://www.centrofrayjuliangarcés.org.mx/wp-content/uploads/2019/11/Recomendacion-Completo.pdf>
- Moreno-Calles A. I., Toledo, V. M., & Casas A. (2013). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91(4), 375-398. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-42982013000400001&lng=es&tlng=es.
- Oregon Occupational Safety & Health Division (Oregon OSHA). (s/f). *¡No se trata solo de polvo! Qué debe saber acerca de la sílice cristalina, la silicosis y las normas sobre sílice de Oregon OSHA*. Sección de Normas y Recursos Técnicos de Oregon OSHA. <https://osha.oregon.gov/edu/peso/Pages/default.aspx>
- Pérez-Sánchez, J. M. (2014). *Agricultura de Terrazas en Tlaxcala. La Caridad Cuaxonacayo*. México: Secretaría de Educación Pública del Estado de Tlaxcala.

- Rashid, A., Schutte, B. J., Ulery, A., Deyholos, M. K., Sanogo S., Lehnhoff E. A., & Beck L. (2023). Heavy Metal Contamination in Agricultural Soil: Environmental Pollutants Affecting Crop Health. *Agronomy*, 13(6), 1521. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061521>.
- Rodríguez R., J. (2015). Seguimiento de la transición con bases agroecológicas del diseño de un sistema Agroforestal de participación social: Finca Villabrojo (Ciudad Real). Máster Universitario Oficial de Agroecología, Desarrollo Rural y Agroturismo. Universitat Miguel Hernández. España
- Rodríguez-Alfaro, M., Muñoz-Ugarte, O., Calero-Martín, B., Martínez-Rodríguez, F., Montero-Álvarez, A., Limeres-Jiménez, T., Orphee-Montoya, M., & de Aguilar- Accioly, A. M. (2012). Contenido de metales pesados en abonos orgánicos, sustratos y plantas cultivadas en organopónicos. *Cultivos Tropicales*, 33(2), 05-12.
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/items/30b955f2-9989-4629-9782-b67dfa518841>.
- Ruiz-Huerta, E. A., Armienta-Hernández, Ma. A., Dubrovsky, J. G., & Gómez-Berna, J. M. (2022). Bioaccumulation of heavy metals and As in maize (*Zea mays* L.) grown close to mine tailings strongly impacts plant development. *Ecotoxicology* 31:447–467. <https://doi.org/10.1007/s10646-022-02522-w>.
- Sánchez-Morales, P. y Romero-Arenas, O. (2018). Evaluación de la sustentabilidad del sistema milpa en el Estado de Tlaxcala, México. *Revista de El Colegio de San Luis*, 8(15), 107–134. <https://doi.org/10.21696/rcsl8152018745>.
- Santamaría Juárez, J. D., Linares Ruíz, V., Castañeda Antonio, M. D., Ramírez-Guzmán, M. E., Juárez M., M., Velasco H., Á., Águila A., E., Munguía P. R., Rivera, A., & Báez R., A. (2022). *Caracterización fisicoquímica de material particulado del Popocatepetl, trayecto Atlixco-Puebla, y su impacto en la salud y el ambiente*. Acta universitaria, 32. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3489>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2007). *NORMA Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y vanadio*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4964569&fecha=02/03/2007#gsc.tab=0.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales & Colegio de Postgraduados (SEMARNAT-CP. (2002). *Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, a escala 1:250,000*. Memoria Nacional. México.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2023*. <http://www.siap.gob.mx>.
- Srivastava, V., Sarkar, A., Singh, S., Singh, P., De Araujo, A. S., & Singh, R. P. (2017). Agroecological responses of heavy metal pollution with special emphasis on soil health and plant performances. *Frontiers in Environmental Science*, 5, 64.
- Tittonell, P. (2019). Las transiciones Agroecológicas: Múltiples escalas, niveles y desafíos. *Rev. FCA UNCUYO* 51(1):231-246. ISSN (en línea) 1853-8665.
- Volke-Sepúlveda T., Velasco-Trejo J. A., & de la Rosa-Pérez D. A. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.



Spatiotemporal characterization of the optimal conditions for the establishment of prickly pear cactus (*Opuntia* spp.) in the Potosi high plateau

Enrique Ibarra Zapata^{1*}
Juan José Silva Gallegos¹
José de Jesús Hernández Ramos²

Abstract

Through the application of geospatial methods and techniques, the optimal requirements that favor the cultivation of prickly pear (*Opuntia* spp.) were evaluated based on the integration of different factors: 1) The soil as an agent that supports the crop, 2) The heat units that allow determining the accumulation of essential heat in the phenological development and 3) The climatic similarity, defined as the potential distribution range of the species. Methodologically, a process of prioritization, standardization and obtaining the degree of affiliation of the factors was carried out, likewise, the assignment of global weights was determined and the Multi Criteria Spatial Evaluation (EMC) was carried out through Weighted Linear Combination (WLC). Territorially, 16,494 km² were characterized as an optimal area to establish new prickly pear plantations, in the Centro and Altiplano regions of the State of San Luis Potosí in north-central Mexico. The territorial determination of new areas with a certain vocation for prickly pear cactus allowed for strengthening decision-making along three medium- and long-term strategic lines in different locations in the region: food security, soil conservation, and mitigation of the effects of climate change.

Keywords: Regional planning, simulation model, spatial analysis, phytogeography, San Luis Potosí.

Evaluación geoespacial de las condiciones óptimas para el establecimiento de nopal tunero (*Opuntia* spp.) en el Altiplano Potosino

Resumen

Mediante la aplicación de métodos y técnicas geoespaciales se evaluaron los requerimientos óptimos que favorecen al cultivo de nopal tunero (*Opuntia* spp.) con base en la integración de diferentes factores: 1) El suelo como agente que da el soporte al cultivo, 2) Las unidades calor que permiten determinar la acumulación de calor esencial en el desarrollo fenológico y 3) La similitud climática, definida como el rango de distribución potencial de la especie. Metodológicamente se realizó un proceso de priorización, estandarización y la obtención de grado de pertenencia de los factores, asimismo, se determinó la asignación de pesos globales y se realizó la Evaluación Espacial Multi Criterio (EMC) mediante Combinación Lineal Ponderada (WLC). Territorialmente se caracterizó 16 494 km² como superficie óptima para establecer nuevas plantaciones de nopal tunero, en las regiones Centro y Altiplano del Estado San Luis Potosí en el centro-norte de México. La determinación territorial de nuevas superficies con cierta vocación a favor de nopal tunero permitió fortalecer la toma de decisiones en tres líneas estratégicas a mediano y largo plazo en diferentes localidades de la región: seguridad alimentaria, conservación del suelo y mitigación de efectos del cambio climático.

Palabras clave: Planificación regional, modelo de simulación, análisis espacial, fitogeografía, San Luis Potosí.

¹Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Carretera San Luis-Matehuala km 14.5, Ejido Palma de la Cruz C. P. 78321, Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P. México.

²Instituto Nacional de Estadística y Geografía, ave. Venustiano Carranza 1138, De Tequisquiapan, C. P. 78250, San Luis Potosí, S. L. P. México.

*Corresponding author: enrique.zapata@uaslp.mx Tel: 5560181341, ORCID ID: 0000-0003-2884-0362

Introduction

The nopal (*Opuntia* spp.), is a plant belonging to the cactus family and, according to the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2019), its region of origin is Mexico. However, it is widely found in regions with arid and semi-arid climates in America, from the northern United States to Patagonia (Bravo & Scheinvar, 1999). It is considered a species of commercial importance, highlighting its stems “tender shoots or nopalitos”, fruit (prickly pears) and forage, in addition, it is an essential crop in forestry and agroforestry projects in developing countries (CABI, 2019), in addition, the nopal is considered a species of high agronomic importance worldwide (Kiesling & Metzling, 2018).

Environmentally, species of the *Opuntia* genus maintain a close relationship with the environment in which they grow, therefore, they are largely dependent on the physical environment, which allows us to determine the requirements that favor their growth and adaptability. According to the Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de Querétaro (SEDEA, 2017), the prickly pear cactus requires 200 to 750 mm of annual rainfall, with a temperature range between 6 and 36 °C, an optimal temperature of 18 to 20 °C, as well as sandy or sandy/clayey soils with good drainage; all of these aspects are considered determining factors in crop yields.

According to Luna et al., (2008), the nopal was considered a multifaceted crop, since it is a meal with a high nutritional value, since its fruits are a good source of vitamins and amino acids, its tender shoots “nopalitos” provide health benefits, achieving the reduction of glucose and cholesterol levels in the blood, even, in rural areas it is used as a windbreak and natural fence. Therefore, this crop represents a socially viable option for the integral development of regions with arid and semi-arid climates, where there is largely both water scarcity and soils poor in organic matter.

FAO and the International Center for Agricultural Research in Dry Areas (ICARDA) indicate that nopal cultivation is a key element in food safety, highlighting that Mexico is an important center of diversification of the *Opuntia* genus, where at least 93 species are reported, as well as eight of *Nopalea* (Scheinvar, 2007). It has a widespread distribution in almost all of Mexican Republic, from the coast to 2700 (AMSL),

Introducción

El Nopal (*Opuntia* spp.), es una planta perteneciente a la familia de las cactáceas y, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2019), tiene su región de origen en México. Sin embargo, se encuentra ampliamente distribuida en las regiones con climas áridos y semiáridos en América, desde el Norte de Estados Unidos hasta la Patagonia (Bravo & Scheinvar, 1999). Es considerada como una especie de importancia comercial, destacando sus tallos “brotes tiernos o nopalitos”, fruto (tunas) y forrajes, además, es un cultivo esencial en proyectos forestales y agroforestales en países en desarrollo (CABI, 2019), aunado a ello, el nopal es señalado como una especie de alta importancia agronómica en el mundo (Kiesling & Metzling, 2018).

Ambientalmente, las especies del género *Opuntia* mantienen una relación estrecha con el ambiente donde se desarrollan, por lo tanto, existe en buena medida una dependencia con el entorno físico, lo que permite determinar los requerimientos que favorecen su crecimiento y adaptabilidad. De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de Querétaro (SEDEA, 2017), el nopal requiere de 200 a 750 mm de precipitación anual, con un rango térmico que oscila entre 6 y 36 °C, una temperatura óptima de 18 a 20 °C, así como suelos con textura arenosa o areno/arcillosa con buen drenaje; todos estos aspectos se consideran determinantes en los rendimientos del cultivo.

De acuerdo con Luna et al., (2008), el nopal se consideró un cultivo polifacético, ya que es un alimento con un alto valor nutricional, puesto que sus frutos son una buena fuente de vitaminas y aminoácidos, sus brotes tiernos “nopalitos” proporcionan beneficios a la salud, logrando la reducción de los niveles de glucosa y colesterol en sangre. Incluso, en localidades rurales se utiliza como cortina rompe viento y cerca natural. Por lo tanto, este cultivo representa una opción socialmente viable para el desarrollo integral de las regiones con climas áridos y semiáridos, donde en buena medida existe tanta escasez de agua como suelos pobres en materia orgánica.

La FAO y el Centro Internacional de Investigación Agrícola en las Zonas Secas (ICARDA), señalan que el cultivo de nopal es un elemento clave en la seguridad alimentaria, resaltando que México es un importante centro de diversificación del género *Opuntia* donde

and is generally associated with xerophilous scrub vegetation, whose vegetation is tolerant to water scarcity and extreme temperatures (Gallegos & Mondragón, 2011; Scheinvar et al., 2011).

In arid areas, the benefits of the prickly pear cactus are important for food safety, as it plays a prominent role in subsistence agriculture, contributing significantly to the daily diet (Mora, 2018). Besides, in the livestock sector, it is a valuable forage that provides nutrients, as well as a source of water for livestock (Torres-Ponce et al., 2015). On a global scale, it is a crop that can be considered a real alternative in mitigating climate change (Campos et al., 2015), since it offers ecological benefits due to its high capacity for carbon fixation, which favors soil conservation for the benefit of the environment (Vázquez et al., 2010).

According to the National Commission for the Knowledge and Use of Biodiversity (CONABIO, 2017), from an ecological point of view, the nopal as a species is a dominant element in the Mexican flora, and from an economic point of view it is an important agricultural resource. Nationally there are around 11 000 nopal producers with an annual production of 777 000 tons, it should be noted that the representative states in terms of nopal production are: Mexico City, Morelos and the State of Mexico (Hernández et al., 2020).

In agreement with the Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos (SEDARH, 2020), the state of Potosí had a volume of 17 thousand tons of nopal fruit, which places it as the sixth national producer, and also, it occupies the 17th position in the production of nopalitos with approximately 2,500 tons, nevertheless, there are persistent problems in its production, as well as limited market opportunities, which is mainly associated with the conventional production methods used (Jarquín & Ramírez, 2009), since in general, producers claim traditional processes in the production processes (Negrete et al., 2020), which causes a limitation in the productive crop chain (Roldan & Chavarría, 2020).

Potosí production of nopal vegetables is distributed in 13 municipalities and contributes 2.4% of the national surface area of this crop (Figure 1a), with a very low yield of 45 t·ha⁻¹, lower than the national average, which is estimated at 66.32 t·ha⁻¹. In addition, the state prickly pear cactus contributes 6.3% of the national planted area, this percentage is distributed among 23

se reportan por lo menos 93 especies, así como ocho de *Nopalea* (Scheinvar, 2007). Posee una distribución extendida en casi todo la República Mexicana desde nivel de costa hasta los 2 700 (msnm), y asociados generalmente a la vegetación de matorral xerófilo, cuya vegetación es tolerante a la escasez de agua y temperaturas extremas (Gallegos & Mondragón, 2011; Scheinvar et al., 2011).

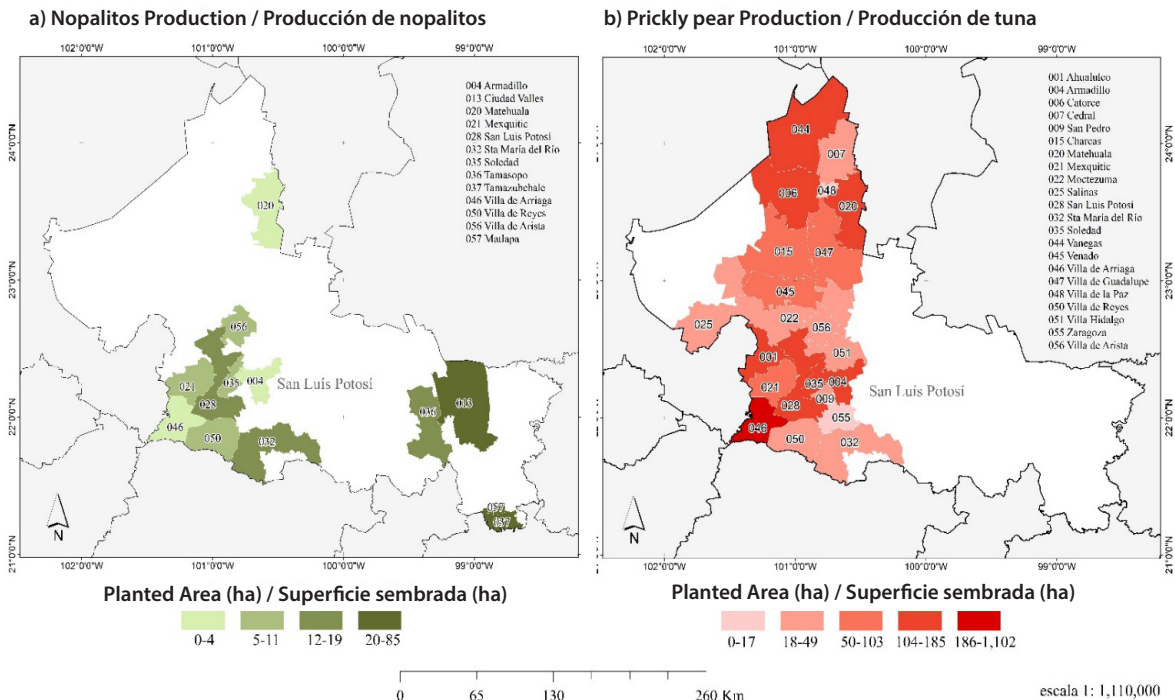
En zonas áridas, los beneficios del nopal son importantes en la seguridad alimentaria, ya que juegan un papel destacado en la agricultura de subsistencia, aportando en buena medida en la dieta diaria (Mora, 2018), además, en el ámbito pecuario, es un forraje valioso que proporciona nutrientes, así como una fuente de agua para el ganado (Torres-Ponce et al., 2015). En una escala global, es un cultivo que puede considerarse como una alternativa real en la mitigación del cambio climático (Campos et al., 2015), ya que ofrece beneficios ecológicos por su alta capacidad en la fijación de carbono, lo que favorece la conservación de suelos en beneficio del ambiente (Vázquez et al., 2010).

De acuerdo con la Comisión Nacional de la Biodiversidad (CONABIO, 2017), desde el punto de vista ecológico, el nopal como especie es un elemento dominante en la flora mexicana, y desde el punto de vista económico es un recurso agropecuario importante. A nivel nacional existen alrededor de 11 000 productores de nopal con una producción de 777 000 toneladas anuales, cabe señalar que los estados representativos en cuanto a la producción de nopal son: Ciudad de México, Morelos y Estado de México (Hernández et al., 2020).

De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos (SEDARH, 2020), el estado potosino contó con un volumen de 17 mil toneladas del fruto de nopal, lo que lo coloca como el sexto productor nacional, y además, ocupa la posición 17 en la producción de nopalitos con aproximadamente 2 500 toneladas, a pesar de ello, existen problemas persistentes en su producción, así como oportunidades de mercado limitadas, lo que se asocia principalmente a las formas de producción convencionales utilizadas (Jarquín & Ramírez, 2009), ya que de manera general, los productores reivindican procesos tradicionales en los procesos de producción (Negrete et al., 2020), lo que propicia una limitante en la cadena productiva del cultivo (Roldan & Chavarría, 2020).

Figure 1. Spatial distribution of Nopal producing municipalities in the state of San Luis Potosí. a) Prickly Pear Nopal, b) Nopal Vegetable.

Figura 1. Distribución espacial de los municipios productores de Nopal en el Estado de San Luis Potosí. a) Nopal Tunero, b) Nopal Verdura.



Source: Planted Area at the municipal level SIAP, 2020.
Fuente: Superficie sembrada a nivel municipal SIAP, 2020.

municipalities (Figure 1b) with a very low yield of 2.27 t·ha⁻¹, equivalent to only a quarter of the national average, estimated at 10.19 t·ha⁻¹. Regarding forage cactus, it is worth highlighting that there are no records of it in the State.

Based on the above, the aim of this research was to estimate a spatial prioritization model that allows defining the optimal areas for the establishment of new prickly pear plantations at the plot level, in the central and highland regions of the State of San Luis Potosí, Mexico.

Materials and Methods

The study region is considered the desert and semi-desert portion of the State of San Luis Potosí, and is made up of 24 municipalities: Ahualulco (001), Armadillo (004), Catorce (006), Cedral (007), Cerro de San Pedro (009), Charcas (015), Guadalcázar (017), Matehuala (020), Mexquitic (021), Moctezuma (022), Salinas (025), San Luis Potosí (024), Santa María del Río (032), Santo Domingo (033), Soledad (035), Vanegas (044), Venado (045), Villa de Arista (056), Villa de Ar-

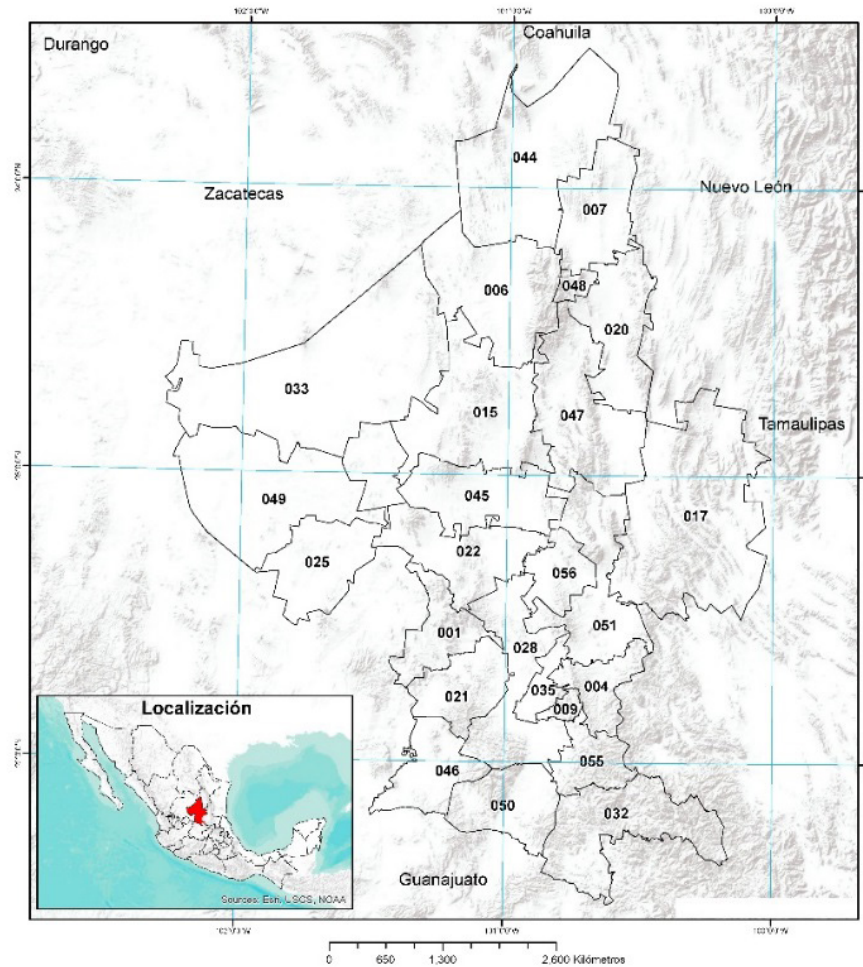
La producción potosina de nopal verdura se distribuye en 13 municipios y aporta el 2.4 % de la superficie nacional de este cultivo (Figura 1a), con un rendimiento muy bajo, 45 t·ha⁻¹, inferior al promedio nacional, que se estima en 66.32 t·ha⁻¹. En complemento, el nopal tunero estatal aporta el 6.3 % de la superficie sembrada nacional, dicho porcentaje se distribuye en 23 municipios (Figura 1b) con un rendimiento muy bajo, 2.27 t·ha⁻¹, equivalente a solo un cuarto del promedio nacional, estimado en 10.19 t·ha⁻¹. En relación con el nopal forrajero, es pertinente resaltar que no existe registro en el Estado.

Derivado de lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue estimar un modelo de priorización espacial que permita definir las áreas óptimas para el establecimiento de nuevas plantaciones de nopal tunero en una escala a nivel parcela, en las regiones centro y altiplano del Estado de San Luis Potosí, México.

Materiales y Métodos

La región de estudio se considera la porción desértica y semidesértica del Estado de San Luis Potosí,

Figure 2. Study region.
Figura 2. Región de estudio.



riaga (046), Villa de Guadalupe (047), Villa de la Paz (048), Villa de Ramos (049), Villa de Reyes (050), Villa Hidalgo (051) and Zaragoza (055), where there are unique characteristics of arid climates with little rain and desert scrub vegetation (Figure 2).

The methodological component was supported by the use of Geographic Information Systems (SIG by its Spanish abbreviation), since they are considered a tool which allows modeling cartographic scenarios that support decision making, in this case with a vocation towards research related to land suitability mapping, through EEMC (Malcewski, 2004; Mendoza & Martínez, 2006; Olivas et al., 2007; Arharya et al., 2019. According to Bustillos et al. (2017), this type of approach allows spatial and non spatial information on different topics to be linked, analyzed and prioritized (environmental,

and se integra por 24 municipios: Ahualulco (001), Armadillo (004), Catorce (006), Cedral (007), Cerro de San Pedro (009), Charcas (015), Guadalcázar (017), Matehuala (020), Mexquitic (021), Moctezuma (022), Salinas (025), San Luis Potosí (024), Santa María del Río (032), Santo Domingo (033), Soledad (035), Vane-gas (044), Venado (045), Villa de Arista (056), Villa de Arriaga (046), Villa de Guadalupe (047), Villa de la Paz (048), Villa de Ramos (049), Villa de Reyes (050), Villa Hidalgo (051) y Zaragoza (055), donde existen características propias de climas áridos con escasas lluvias y vegetación de matorrales desérticos (Figura 2).

El componente metodológico se soportó en el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), debido a que son considerados una herramienta que permite modelar escenarios cartográficos que dan soporte a la toma de decisiones, en este caso

social, epidemiological, among others), providing technical and scientific support for methodological processes.

There are some publications that have addressed the estimation of territories suitable for nopal, (i.e.) Ceballos & Blanco (2011) carry out a characterization of the suitability for planting nopal considering variables such as minimum temperature, maximum temperature, precipitation, soil depth, pH, soil texture, altitude and slope of the land, performing the integration of variables through the Fussy method, managing to identify surfaces suitable for cultivation. The Secretaría de Agricultura and the Universidad Autónoma de Zacatecas (SAGARPA-UAZ, 2015) propose a regional project to diversify the uses of nopal, including the production of prickly pear (tuna), which was based on a comprehensive approach to improving productivity and profitability, based on optimal soil parameters (30 cm depth and at least 300 mm of annual rainfall) and medium soil texture. For their part, Savino et. al. (2019) determined areas suitable for prickly pear cactus, managing to zone the surface according to the potential to host the crop in Santiago del Estero, Argentina. The modeling was carried out through the combination of bioclimatic variables, obtaining cartography with the necessary ranges to guarantee optimal conditions for the crop. Arharya et al. (2019) mapped land suitability for *Opuntia ficus-indica* in India using a process hierarchy analysis (AHP), which integrated climatic and edaphic factors: precipitation, minimum, maximum and average temperature, relative humidity, soil salinity, texture, pH and organic matter, obtaining a variable degree of spatio-temporal suitability under changing conditions of precipitation and aridity, such areas are considered an input to build resilient agro-ecosystems, which provide food and forage, as well as improve ecosystem services.

This research, provides the background for the development of suitability maps for nopal cultivation, however, in our investigation a spatial prioritization model was estimated that considered the following criteria in the definition of the suitability of the crop: edaphic criterion (slope, texture and type of soil), accumulated heat units criterion "UCAcum" (base temperature of nopal, minimum temperature and maximum temperature of the location or region of study),

con una vocación hacia la investigación relacionada al mapeo de aptitud del terreno, mediante la EEMC (Malcewski, 2004; Mendoza & Martínez, 2006; Olivas et al., 2007; Arharya et al., 2019). Según Bustillos et al. (2017), este tipo de enfoque permite relacionar, analizar y priorizar información espacial y no espacial de diferentes temas (ambiental, social, epidemiológica, entre otras), otorgando un respaldo técnico y científico en los procesos metodológicos.

Existen algunas publicaciones que han abordado la estimación de territorios aptos para el nopal, (i.e.) Ceballos & Blanco (2011) realizan una caracterización de la aptitud para siembra de nopal considerando variables como temperatura mínima, temperatura máxima, precipitación, profundidad del suelo, pH, textura de suelo, altitud y pendiente del terreno, realizando la integración de variables por medio del método Fussy, logrando identificar superficies aptas para el cultivo.

La Secretaría de Agricultura y la Universidad Autónoma de Zacatecas (SAGARPA-UAZ, 2015), plantean un proyecto regional para diversificar los usos del nopal, incluyendo la producción de tuna, el cual, se basó en un enfoque integral para mejorar la productividad y rentabilidad, basado en los parámetros suelos óptimos (30 cm de profundidad y al menos 300 mm de precipitación anual) y textura media de suelo. Por su parte Savino et. al. (2019) determinaron áreas aptas para nopal tunero, logrando zonificar la superficie de acuerdo con las potencialidades para albergar al cultivo en Santiago del Estero, Argentina. La modelización se realizó a través de la combinación de variables bioclimáticas obteniendo cartografía con los rangos necesarios para garantizar las condiciones óptimas para el cultivo.

Arharya et al. (2019), realizaron un mapeo de la aptitud de la tierra para *Opuntia ficus-indica* en la India mediante un proceso de análisis jerárquico (AHP), que integró factores de carácter climático y edáfico: precipitación, temperatura mínima, máxima y media, humedad relativa, salinidad del suelo, textura, pH y materia orgánica, obteniendo un grado variable de idoneidad espacio-temporal bajo condiciones cambiantes de precipitación y aridez, dichas áreas se consideran un insumo para construir agro ecosistemas resilientes, que proporcionen alimentos y forraje, así como una mejora a los servicios ecosistémicos.

environmental criteria (associated with precipitation, humidity and temperature) of the global baseWorldClim (2020) and the altitude criterion. This involved 24 variables, which are characterized and described in the Table 1.

Subsequently through the EEMC the areas with potential suitability for nopal cultivation were characterized, using a map algebra process, which involved identifying and analyzing the suitability criteria mentioned above (Table 1). This determination of suitable areas involved zoning the territory according to the optimal potential of the crop. According to Soplas-Mass et al., (2018) and Savino et al., (2019), the EEMC allows to determine the potential areas and identify the places with optimal conditions for the development of a certain species.

For the calculation of the potential distribution model of the crop georeferenced sampling data were used, defined as training points (presence) which were collected in the field with GPS Map 60Csx equipment with a GA 38 antenna, GPS / GLONASS, considering plantations of prickly pear cactus of the red smooth and crystalline variety, in the Ejido La Victoria, in the town of Pinos, Zacatecas, because it will be the region that will provide the plant material for the new plantations in areas identified in this research (according to the Unión Mexicana de Productores Nopal Tuna and Maguey Producers of the State of San Luis Potosí (UMPNTandM SLP).

The estimation of the potential distribution of the prickly pear cactus was carried out by using the MaxEnt algorithm considered as a robust and statistically significant model due to the statistical support of the area under the AUC curve (i.e). Masocha & Dube, (2017) estimated the potential distribution of *O. fulgida* in Zimbabwe classified as an invasive exotic species, obtaining results that supported decision-making on health issues, similarly Scheinva et al. (2018) modeled the potential distribution of a new species of *Opuntia* (*Cactaceae*) from Coniferous and *Quercus* forests in northern Mexico, obtaining the potential distribution in a well defined environment.

The methodological process involved three strategic stages:

- 1) Standardization of the factors employed by means of the use of membership functions based on their agroecological requirements and the optimal/sub-optimal values of the crop.

Dichas investigaciones, son el antecedente en la elaboración de mapas de aptitud para el cultivo de nopal, sin embargo, en nuestra investigación se estimó un modelo de priorización espacial que consideró los siguientes criterios en la definición de la aptitud del cultivo: criterio edáfico (pendiente, textura y tipo de suelo), criterio unidades calor acumuladas "UCAcum" (temperatura base del nopal, temperatura mínima y temperatura máxima de la localidad o región de estudio), criterios ambientales (asociados a precipitación, humedad y temperatura) de la base global WorldClim (2020) y el criterio de altitud. Lo que involucró 24 variables, las cuales se caracterizan y describen en el Cuadro 1.

Posteriormente a través de la EEMC se caracterizaron las superficies con aptitud potencial para el cultivo de nopal, mediante un proceso de álgebra de mapas, que involucró identificar y analizar los criterios de aptitud antes señalados (Cuadro 1). Dicha determinación de superficies aptas implicó zonificar el territorio conforme a las potencialidades óptimas propias del cultivo. Según Soplas-Mass et al., (2018) y Savino et al., (2019), la EEMC permite determinar las áreas potenciales e identificar los lugares con las condiciones óptimas para el desarrollo de una determinada especie.

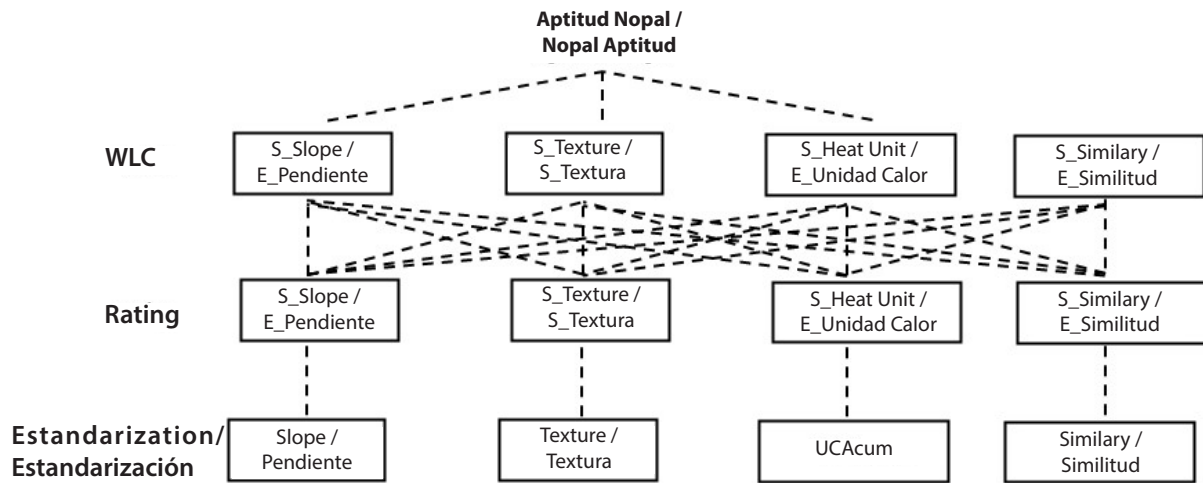
Para el cálculo del modelo de distribución potencial del cultivo se utilizaron datos de muestreo georreferenciados, definidos como puntos de entrenamiento (presencia) los cuales fueron levantados en campo con los equipos GPS Map 60Csx con una antena GA 38, GPS/GLONASS, considerando plantaciones de nopal tunero de la variedad roja lisa y cristalina, en el Ejido La Victoria, en la localidad de Pinos, Zacatecas, debido a que será la región que proveerá el material vegetal para las nuevas plantaciones en zonas identificadas en esta investigación (de acuerdo con la Unión Mexicana de Productores Nopal Tuna y Maguey del Estado de San Luis Potosí (UMPNTyM SLP).

La estimación de la distribución potencial del nopal tunero se realizó por medio del algoritmo MaxEnt considerado un modelo robusto y estadísticamente significativo por contar con el respaldo estadístico del área bajo la curva AUC, (i.e) Masocha & Dube, (2017) estimaron la distribución potencial de *O. fulgida* en Zimbabwe catalogada como una especie exótica invasora, obteniendo resultados que dieron

Table 1. Operationalization of variables of the spatial prioritization model.
Cuadro 1. Operacionalización de variables del modelo de priorización espacial.

Criteria / Criterios	Conceptual definition / Definición conceptual	Operational definition / Definición operativa	Indicators / Indicadores	Estimate / Estimación	Source/ Fuente
Slope / Pendiente	It's the percentage value obtained from the difference in altitude (INEGI, 2011). / Es el valor porcentual que se obtiene de la diferencia en altitud (INEGI, 2011).	It is the inclination or unevenness of the ground. / Es la inclinación o desnivel del suelo.	It is expressed in percentage (%) / Se expresa en porcentaje (%)	IDW interpolation considering: / $\text{Pendiente} = \frac{(D_{\text{Horizontal}})}{(D_{\text{Reducida}})} \times 100$ Interpolación IDW considerando: $\text{Pendiente} = \frac{(D_{\text{Horizontal}})}{(D_{\text{Reducada}})} \times 100$	Digital Terrain Model (DTM) (INEGI, 2015) / Modelo Digital del terreno MDT (INEGI, 2015)
Soil Texture / Textura de Suelo	Percentage of sand, silt, and clay particles present in the upper 30 cm in dominant soil. (INEGI, 2010). / Porcentaje de partículas de arena, limo y arcilla presentes en los 30 cm superiores en suelo dominante (INEGI, 2010).	It is the soil's capacity to retain water according to the particles that make up the soil. / Es la capacidad del suelo para retener agua según las partículas que componen el suelo.	It is expressed in three classes: - Fine texture - Medium texture - Thick texture / Se expresa en tres clases: - Textura fina - Textura media - Textura gruesa	Heat map (Hotspot), identifies statistically significant clusters in a spatial context: hot spots and cold spots. / Mapa de calor (Hotspot), identifica cluster estadísticamente significativos en un contexto espacial: puntos calientes y puntos fríos.	Soil map scale 1:250000 (INEGI, 2010). / Carta edafológica escala 1:250000 (INEGI, 2010).
Accumulated Heat Units (UCAcum) / Unidades Calor Acumuladas (UCAcum)	Integration of the environmental temperature curve between the maximum and minimum growth temperature, which define the temperature range where the crop grows adequately (INIFAP 2017). / Integración de la curva de temperatura ambiental entre la temperatura máxima y mínima de crecimiento, las cuales definen el rango de temperatura donde el cultivo se desarrolla adecuadamente (INIFAP 2017).	The optimal thermal conditions for cultivation are considered. / Se considera las condiciones térmicas óptimas del cultivo.	Expresses the degree of thermal accumulation from base, minimum and maximum temperatures / Expresa el grado acumulación térmica a partir de temperatura base, mínima y máxima.	Where the following restrictions are considered: $GD = \frac{(T_{MAX} + T_{MIN})}{2} - T_{BASE}$ "TBASE" is the temperature below which plant growth does not progress (McMaster & Wilhelm 1997). / Donde se consideran las siguientes restricciones: $GD = \frac{(T_{MAX} + T_{MIN})}{2} - T_{BASE}$ "TBASE" es la temperatura por debajo de la cual el crecimiento de la planta no progresa (McMaster & Wilhelm 1997).	McMaster and Wilhelm, 1997, INIFAP Meteorological Station Network, 2017. / Mc Master y Wilhelm, 1997, Red de estaciones meteorológicas de INIFAP, 2017.
Climatic similarity / Similitud climática	The ecological niche model or potential distribution species in the geographic space considering known distributions (only presence), spatially associated with the environmental space (CONABIO & University of Kansas, 2017). / El modelo de nicho ecológico o distribución potencial de las especies en el espacio geográfico considerando distribuciones conocidas (solo presencia), asociados espacialmente con el espacio ambiental (CONABIO & University of Kansas, 2017).	It is a model that allows a quantitative evaluation of the possibility of a species occupying a certain location. / Es un modelo que permite evaluar cuantitativamente la posibilidad de que una especie ocupe un determinado lugar.	It uses sampling of the species to be evaluated and 21 macro-environmental variables: / Utiliza muestreo de la especie a evaluar y 21 variables macro ambientales:	Using the Maximum Entropy MaxEnt algorithm and 19 macro-environmental variables associated with precipitation and temperature (shown in Appendix 1). / A través del algoritmo de Máxima Entropía MaxEnt y 19 variables macro ambientales asociadas a precipitación y temperaturas. (expuestas en el anexo 1)	WorldClim 2020 field survey of the species of interest (Prickly pear cactus). / WorldClim 2020 levantamiento en campo de las especies de interés (Nopal tunero).

Figure 3. Factors Standardization
Figura 3. Estandarización de factores



Source: Authors' self-made.
Fuente: Elaboración propia.

2) Obtaining the importance of the factors through the opinion of crop experts and the rating method, to assess the information of each variable (Collins et al., 2016; Saqib Khan et al., 2016), and

3) The calculation of areas with potential suitability by weighted linear combination (WLC), which is a procedure by which continuous criteria (factors) are standardized in a numerical range and combined by means of weighted average (Salcedo et al., 2017) (Figure 3).

Membership functions allow to define the degree of belonging of a factor for a particular objective, through standardization based on the requirements of the analysis crop. Standardization was defined on a byte scale, with values ranging from 0 to 255, as it was considered the most recommended for a high suitability rating. This procedure has been used and recommended by varied researchers (Bustillos et al., 2007; Delgado et al., 2010; Aguirre et al., 2015), that is a value of 255 or close to it was assigned to the optimal requirements for development, and values of 0 or close to it were assigned to those that were outside the requirements (Table 2).

The rating method is a procedure for estimating weights that requires a decision-maker. The data is expressed in a valuation matrix X_{ij} , so that each alternative, is evaluated in terms of its degree of compliance with the criteria. It is obtained from the assessment or judgment with which the group of n

soporte en la toma de decisiones en cuestiones sanitarias, de igual forma Scheinva et al. (2018), modelaron la distribución potencial de una nueva especie de *Opuntia* (*Cactaceae*) de Bosques de Coníferas y *Quercus* en el norte de México, obteniendo la distribución potencial en un entorno bien definido.

El proceso metodológico involucró tres etapas estratégicas:

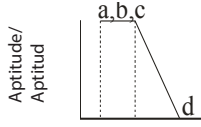
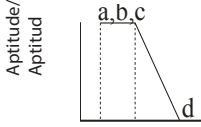
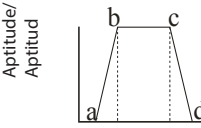
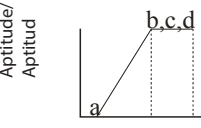
1) La estandarización de los factores empleados por medio de la utilización de funciones de membresía fundamentadas en sus requerimientos agroecológicos y los valores óptimos/subóptimos del cultivo.

2) La obtención de la importancia de los factores mediante el dictamen de expertos del cultivo y el método rating, para valorar la información de cada variable (Collins et al., 2016; Saqib Khan et al., 2016), y

3) El cálculo de las áreas con aptitud potencial mediante combinación lineal ponderada (WLC), que es un procedimiento por medio del cual los criterios continuos (factores) se estandarizan en un rango numérico y se combinan por medio de promedio ponderado (Salcedo et al., 2017) (Figura 3).

Las funciones de membresía permiten definir el grado de pertenencia de un factor para un objetivo en particular, mediante la estandarización a partir

Table 2. Diffuse membership functions
Cuadro 2. Funciones de membresía difusa

Factor	Membership functions / Función de membresía	Graphic / Gráfico	Parameters used / Parámetros utilizados
Slope (%)/ Pendiente	Monotonically decreasing / Monotónicamente decreciente		a: 0; b:8; c:8 and d 16 / a: 0; b:8; c:8 y d 16
Texture / Textura	Monotonically decreasing / Monotónicamente decreciente		a: Average, b: Average, c: Thick and d: Fine / a: Media, b: Media, c: Gruesa y d: Fina
UCAcum	Symmetrical / Simétrica		a:0, b: 40,000, c: 68,862 and d: 10,4724 / a:0, b: 40,000, c: 68,862 y d: 10,4724
Climate Similarity/ Similitud climática	Monotonically increasing / Monotónicamente creciente		a: 0, b: 1, c: 1 and d: 1 / a: 0, b: 1, c: 1 y d: 1

Source: Authors' self-made.
Fuente: Elaboración propia

experts, evaluates each alternative on a scale of real values that can range from 1-5, 1-7, 1-10, or 1-100, to indicate the degree of importance of the criterion indicated (Patidar, 2007; Malczewski et al., 2010; Zardari et al., 2014). Once the assessment matrix was obtained, each variable was normalized using the following formula:

$$Wn_{j0} = \frac{R_j}{\sum_{j=1}^c R_j}$$

Where *Wn* = weight of the normalized attribute;
R = qualified attribute.

The weighted linear combination (WLC) multicriteria evaluation technique, is a method used to combine each of the factors in a weighted manner to generate a map showing the degree of suitability (*S*) for establishing a crop (Olivas-Gallegos et al., 2007; Delgado et al., 2010; Aguirre et al., 2015; Paty-Limanchi & Ramos, 2021; Koull et al., 2022). This was estimated using the formula described below:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i x_i$$

de los requerimientos del cultivo de análisis. La estandarización se definió en una escala byte, con valores oscilantes entre 0 y 255, al ser considerada como la más recomendada para una calificación alta de conveniencia. Este procedimiento ha sido utilizada y recomendada por diversos investigadores (Bustillos et al., 2007; Delgado et al., 2010; Aguirre et al., 2015), es decir el valor de 255 o próximo fue asignado a los requerimientos óptimos para el desarrollo y valores de 0 o próximos a los que estuvieran fuera de los requerimientos (Cuadro 2).

El método rating es un procedimiento para la estimación de pesos el cual requiere un tomador de decisiones. Los datos son expresados en una matriz de valoración *Xij*, de forma que se evalúe, para cada alternativa, en el grado de cumplimiento para el desarrollo del criterio. Se obtiene a partir de la valoración o juicio con el que evalúan cada alternativa el grupo de *n* expertos, sobre una escala de valores reales que puede ir de 1-5, 1-7, 1-10 o 1 – 100, para indicar el grado de importancia del criterio señalado (Patidar, 2007; Malczewski et al., 2010; Zardari et al., 2014). Una vez obtenida la matriz de valoración, fue normalizada cada variable mediante la siguiente fórmula:

Where S = Land suitability for establishment on a scale of 0 to 255, w_i = importance value of factor// subfactors i, x_i = factor i standardized with the membership functions

In this sense the variables were classified according to the expert's judgment, characterizing five ranges for the spatial prioritization model for the potential areas of *Opuntia* spp in the state of San Luis Potosí (Table 3)

Data was then processed using the WLC method, which generated results on a scale of 0-255 (byte). Subsequently, for optimal interpretation of results, the resulting cartographic model was reclassified into five classes of land suitability: 1.- very low (0 to 51), 2.- low (51 to 102), 3.- average (102 to 153), 4.- high (153 to 204) and 5.- very high (204 to 255); this made it possible to identify the area suitable for cultivation.

It is worth mentioning that the developed methodological process is used as the technical/scientific basis for supporting strategic decision-making in the definition and selection of potential areas for the establishment of new prickly pear plantations in the Potosino plateau by the UMPNT and M SLP, since, although the cultivation of *Opuntia* spp. thrives in any type of soil, the region has poor soils and suboptimal conditions that, according to Luna et al. (2012), generate slow development and low productivity. In addition, the presented model considered the physical conditions of the soil, the altitudinal profile and, very important, the optimal temperature requirements

$$Wn_{j0} = \frac{R_j}{\sum_{j=1}^c R_j}$$

Donde Wn = peso del atributo normalizado; R = atributo calificado.

La técnica de evaluación multicriterio por combinación lineal ponderada (WLC), es un método utilizado para combinar ponderadamente cada uno de los factores para generar un mapa con el grado de aptitud (S) para el establecimiento de un cultivo (Olivas-Gallegos et al., 2007; Delgado et al., 2010; Aguirre et al., 2015; Paty-Limanchi & Ramos, 2021; Koull et al., 2022). Lo cual fue estimado bajo la fórmula que se describe a continuación:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i x_i$$

Donde S = Aptitud del terreno para el establecimiento en una escala de 0 a 255, w_i = valor de importancia del factor//subfactores i, x_i = factor i estandarizado con las funciones de membresía.

En este sentido las variables se clasificaron de acuerdo con el juicio del experto, caracterizando cinco rangos para el modelo de priorización espacial para las áreas potenciales de *Opuntia* spp en el estado de San Luis Potosí (Cuadro 3).

Posteriormente se procesó la información mediante el método WLC, el cual generó resultados de valores en escala 0-255 (byte). Posteriormente, para

Table 3. Rank assignment for the spatial prioritization model for potential *Opuntia* spp. areas in the state of San Luis Potosí
Cuadro 3. Asignación de rangos para el modelo de priorización espacial para las áreas potenciales de *Opuntia* spp. en el estado de San Luis Potosí

Variable	Very high /Muy alta	High / alta	Average / Media	Low / Baja	Very low / Muy baja
Slope / Pendiente	0 a 6°	0 a 6°	0 a 6°	0 a 6°	0 a 6°
Soil texture / Textura de suelo	Average / Media	Average / Media	Thick / Gruesa	Thick / Gruesa	Fine / Fina
UCAcum	45 054 to 60 423	60 424 to 72 176	72 177 to 75 491	71 492 to 88 449	88 450 to 104 724
Climate similarity / Similitud climática	0.93-0.67	0.66 – 0.44	0.45 – 0.26	0.25- 0.10	>0.9

Source: Authors' self-made based on geospatial analysis of the variables data
Fuente: Elaboración propia de acuerdo con el análisis geoespacial de las variables

Table 4. Weight assignment using the rating method for the spatial prioritization model for potential areas of *Opuntia* spp. in the state of San Luis Potosí.

Cuadro 4. Asignación de pesos por el método rating para el modelo de priorización espacial para las áreas potenciales de *Opuntia* spp. en el estado de San Luis Potosí.

Variable	Weight / Peso
Slope / Pendiente	0.20
Soil texture / Textura de suelo	0.15
Accumulated Heat Units / Unidades Calor Acumuladas	0.25
Climatic similarity / Similitud climática	0.40

(UCAcum) for the phenological development of the crop.

Results

The reclassification of the soil slope variable was carried out into 5 classes, based on the characteristics which favor the cultivation of prickly pear cactus: 1) Very low slope, which has flat to slightly inclined characteristics (from 0 to 6 °), 2) Low and average slope considered moderately to strongly flat (from 6.1 to 18 °), 3) High slope considered moderately steep (from 21.1 to 24 °) and 5) very high slope with a very and extremely steep territorial characteristic (from 24.1 to 98.2 °), these slope ranges are taken from the classification of the Agustín Codazzi Geographic Institute (POMCA, 2014). In this regard, it is pertinent to note that the very low slope was considered the most appropriate for the establishment of prickly pear cactus, which implies greater water conservation through runoff, given that the study region has dry climate characteristics (Figure 3a).

Texture, as an analysis variable, was reclassified according to the physical characteristics depending on the size of the particles that make up soil: 1) thick texture, contains more than 65% of sand with less water retention capacity, 2) average texture, are the balanced soils in sand, clay and silt finally 3) fine texture, represents the clayey soils, with 35% of clay, are generally floodable soils and the least favorable in an agricultural vocation (INEGI, 2015). For this variable, the favorable criteria for the establishment of new plantations of prickly pear cactus were average textured soils, considered with high potential and soils with thick texture a potential of average suitability (Figure 3b).

una óptima interpretación de los resultados, se re-clasificó el modelo cartográfico resultante en cinco clases de aptitud del terreno: 1.- muy bajo (0 a 51), 2.- bajo (51 a 102), 3.- medio (102 a 153), 4.- alto (153 a 204) y 5.- muy alto (204 a 255); lo que permitió identificar la superficie apta para el cultivo.

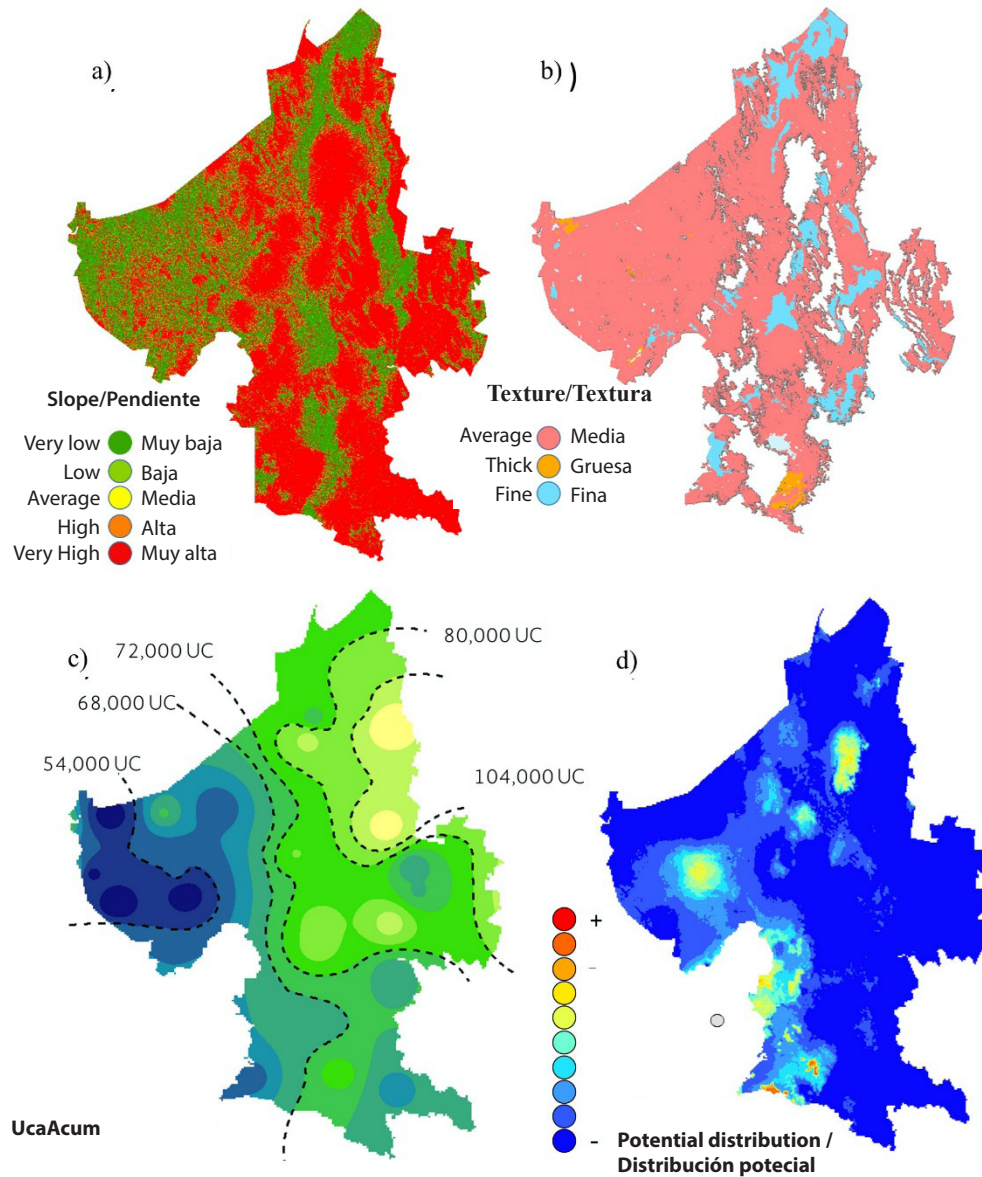
Cabe mencionar que el proceso metodológico desarrollado se utiliza como el sustento técnico/científico en el apoyo a la toma de decisiones estratégicas en la definición y selección de zonas potenciales para el establecimiento de nuevas plantaciones de nopal tunero en el altiplano potosino por parte de la UMPNTyM SLP, ya que, aunque el cultivo de *Opuntia* spp. prospera en cualquier tipo de suelo, en la región existen suelos pobres y condiciones no óptimas que, según Luna et al. (2012), generan un desarrollo lento y baja productividad. Además, el modelo expuesto consideró condiciones físicas del suelo, perfil altitudinal y, muy importante, los requerimientos de temperatura óptima (UCAcum) para el desarrollo fenológico del cultivo.

Resultados

La reclasificación de la variable pendiente del suelo se realizó en 5 clases, en virtud de las características que favorecen al cultivo de nopal tunero: 1) Pendiente muy baja, que posee características de plana a ligeramente inclinada (de 0 a 6°), 2) Pendiente baja y media considerada de moderada a fuertemente plana (de 6.1 a 18°), 3) Pendiente alta considerada moderadamente empinada (de 21.1 a 24°) y 5) pendiente muy alta con una característica territorial muy empinada y extremadamente empinada (de 24.1

Figure 3. Variables to estimate the model spatial prioritization for potential *Opuntia* spp. areas in the state of San Luis Potosí, Mexico. a) Slope, b) Soil texture, c) Accumulated Heat Units “UCAcum” and d) Potential distribution of prickly pear nopal by climatic similarity “Maxent”.

Figura 3. Variables para estimar el modelo de priorización espacial para las áreas potenciales de *Opuntia* spp. en el estado de San Luis Potosí, México. a) Pendiente, b) Textura de suelo, c) Unidades Calor Acumuladas “UCAcum” y d) Distribución potencial de Nopal tunero estimado por similitud climática “Maxent”.



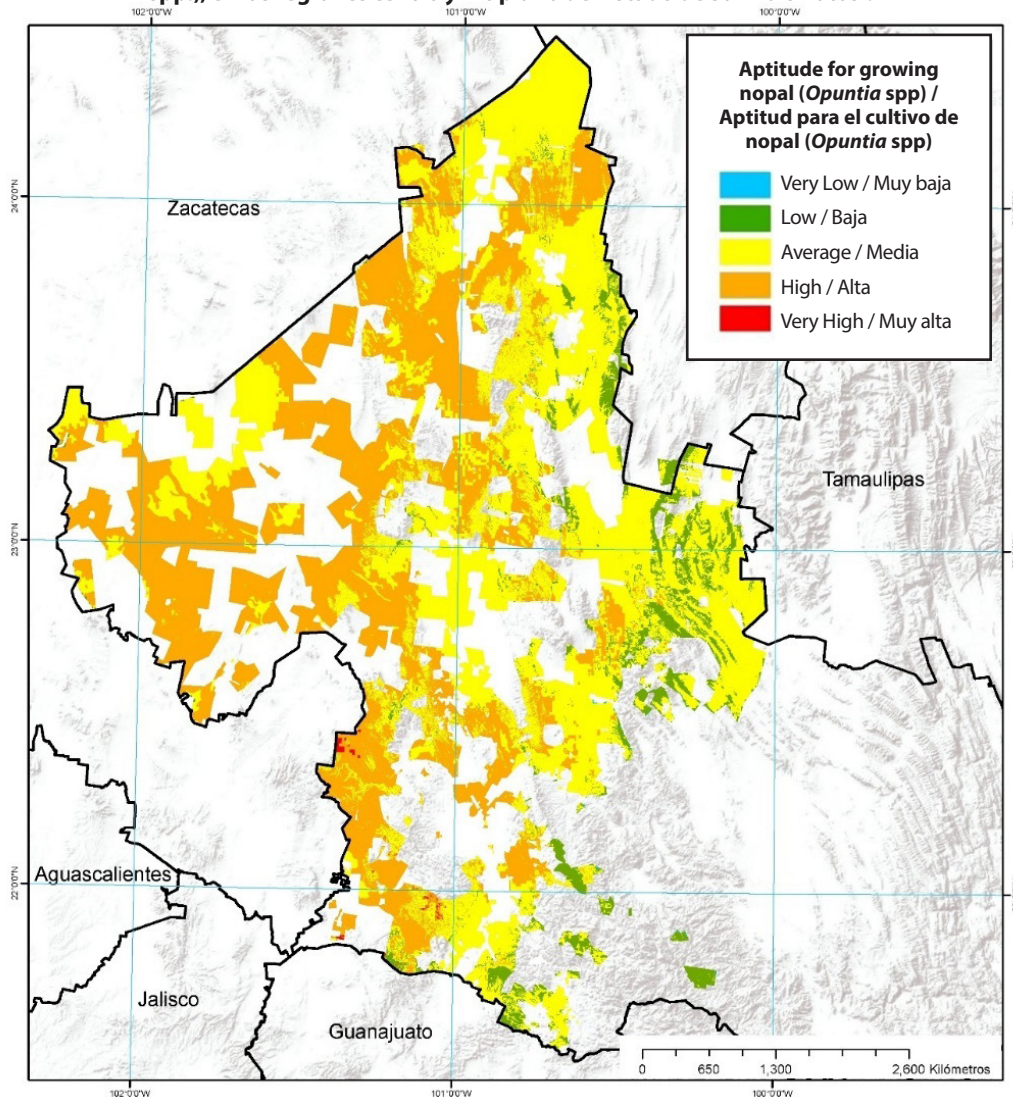
Source: Authors' self-made with data expressed in the research methodology.
Fuente: Elaboración propia con datos expresados en la metodología de la investigación.

Thermal suitability was estimated by integrating the values that favor the crop through the calculation of UCAcum, which characterizes the surfaces according to the integration of the environmental temperature curve (isotherms), and five thermal ranges were obtained: with very high suitability for cultivation the

hasta 98.2°), dichos rangos de pendiente se toman de la clasificación del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (POMCA, 2014). Al respecto, es pertinente señalar que la pendiente muy baja se consideró la más apropiada para el establecimiento del nopal tunero, que implica mayor conservación de agua por

Figure 4. Suitability model for the establishment of nopal (*Opuntia spp.*) cultivation in the central and Altiplano regions of the State of San Luis Potosí.

Figura 4. Modelo de aptitud para el establecimiento del cultivo de nopal (*Opuntia spp.*), en las regiones centro y Altiplano del Estado de San Luis Potosí.



Source: Authors' self-made with the outlined methodology data.
Fuente: Elaboración propia con la metodología expuesta.

thermal range oscillated between 45 054 and 60 423 UCAcum, with high suitability the oscillation was determined between 60 424 and 72,176 UCAcum, with medium suitability it oscillated between UCAcum values of 72,17 to 75 491, with low suitability it was from 75 492 to 88 449 UCAcum and finally, with very low suitability from 88 450 to 104 724 UCA (Figure 3c).

In addition, the potential distribution model of prickly pear nopal was considered a robust model since it presented an area under the curve (AUC: 0.994), higher than the critical point for this model (AUC 0.700), according to the parameters indicated

escurrimiento, dado que la región de estudio cuenta con características de clima seco (Figura 3a).

La textura, como variable de análisis, se reclasificó conforme a las características físicas según el tamaño de las partículas que conforman el suelo: 1) textura gruesa, contiene más de 65 % de arena con menor capacidad de retención de agua, 2) textura media, son los suelos equilibrados en arena, arcilla y limo finalmente 3) textura fina, representa los suelos arcillosos, con 35 % de arcilla, generalmente son suelos inundables y los menos favorables en una vocación agrícola (INEGI, 2015). Para esta variable, los criterios

by Keiko et al. (2015). In addition, the variables that support the modeling are altitude (BIO:20) with a contribution of 31.8%, precipitation of the rainiest month (BIO:13) with a contribution of 25.4%, seasonality of temperature (BIO:4) with 9.7%, average temperature of the driest quarter (BIO:9) with 8.2%, annual precipitation (BIO:12) with 7.3%, seasonal precipitation (BIO:17) with 7%, precipitation of the driest quarter (BIO:15) with 5.5%, precipitation of the wettest quarter (BIO:16) with 2.3%, seven variables with a contribution of 2.8% (Figure 3d).

The spatial association and interaction through the EEMC of the 24 variables that determined the suitability for the establishment of the cultivation of prickly pear (*Opuntia* spp.) in the study region, allow us to show that 16 494 km² are suitable for the establishment of the crop, that is, 45.31% of the study region has optimal conditions for the establishment of the crop, of which: 824 190 ha have a high suitability, 780 763 ha with average suitability and 41 432 ha have a low suitability and it is pertinent to note that 2,411 ha have a very high suitability and on the contrary 639 ha have a very low suitability, the above considering as a territorial basis the register of the surface of the Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares, PROCEDE (Figure 4).

The suitability for the establishment of the cultivation of prickly pear nopal (*Opuntia* spp) at the municipal level had its greatest territorial extension in Vanegas with 215 170 ha, followed by Santo Domingo with 207 371 ha, Catorce with 153 985 ha, Villa de Ramos with 148 371 ha, Charcas with 132 155 ha, Villa de Guadalupe with 116 212 ha, Cedral with 106 644 ha, Venado with 96 953 ha, Matehuala with 88 559 ha, Villa de Reyes with 78 705 ha, Moctezuma with 73 511 ha, Salinas with 65 379 ha, Ahualulco with 55 822 ha, Villa de Arriaga with 42 189 ha, Mexquitic with 38 675 ha, Villa de Arista with 16 074 ha and Villa de la Paz with 13 660 ha. In addition, the table shows the percentage in each category level: very high, high, medium, low and very low (Table 5)

Discussion

The transdisciplinary approach of spatial methodologies as a support for the evaluation of agricultural comfort conditions allows to strengthen strategic decision-making, since it enables the integration and analysis of variables that identify territorial surfaces

favorables para el establecimiento de nuevas plantaciones de nopal tunero fueron los suelos de textura media, considerados con un potencial alto y los suelos con textura gruesa un potencial de aptitud media (Figura 3b).

La aptitud térmica se estimó con la integración de los valores que favorecen al cultivo a través del cálculo de UCAcum, lo que caracteriza las superficies de acuerdo a la integración de la curva de temperatura ambiental (isotermas), y se obtuvieron cinco rangos térmicos: con muy alta aptitud para el cultivo el rango térmico osciló entre las 45 054 y 60 423 UCAcum, con alta aptitud la oscilación se determinó entre las 60 424 a 72 176 UCAcum, con aptitud media osciló entre los valores UCAcum de 72 177 a 75 491, con baja aptitud fue de 75 492 a 88 449 UCAcum y finalmente, con muy baja aptitud de 88 450 a 104 724 UCA (Figura 3c).

En complemento, el modelo de distribución potencial de nopal tunero se consideró un modelo robusto pues presentó un área bajo la curva (AUC: 0.994), superior al punto crítico para este modelo (AUC 0.700), conforme a los parámetros señalados por Keiko et al. (2015). Además, las variables que soportan el modelado son la altitud (BIO:20) con una contribución del 31.8 %, precipitación del mes más lluvioso, (BIO:13) con aporte del 25.4 %, estacionalidad de la temperatura (BIO:4) con el 9.7 %, temperatura media del trimestre más seco (BIO:9) con el 8.2 %, precipitación anual (BIO:12) con el 7.3 %, precipitación estacional (BIO:17) con el 7 %, precipitación del trimestre más seco (BIO:15) con el 5.5 %, precipitación del trimestre más húmedo (BIO:16) con el 2.3 %, siete variables con un aporte del 2.8 % (Figura 3d).

La asociación e interacción espacial a través de la EEMC de las 24 variables que determinaron la aptitud para el establecimiento del cultivo de nopal tunero (*Opuntia* spp.) en la región de estudio, permiten evidenciar que 16 494 km² cuentan con aptitud para el establecimiento del cultivo, es decir, el 45.31 % de la región de estudio cuenta con óptimas condiciones para el establecimiento del cultivo, de las cuales: 824 190 ha poseen una aptitud alta, 780 763 ha con aptitud media y 41 432 ha cuentan con una aptitud baja y es pertinente señalar que 2 411 ha cuentan con muy alta aptitud y por el contrario 639 ha cuen-

Table 5. Estimated area by degree of suitability of nopal (*Opuntia spp*), broken down by the municipalities which make up the study region.**Cuadro 5. Superficie estimada por grado de aptitud de nopal (*Opuntia spp*), desglosado por los municipios que integran la región de estudio.**

Municipality / Municipio	Code / Clave	Surface (ha) / Superficie (ha)	(% Percentage of surface área / (%) Porcentaje de superficie				
			Very low / Muy baja	Low / Baja	Average / Media	High /Alta	Very High / Muy alta
Ahualulco	001	55 822	0.12	1.37	26.93	69.23	2.35
Catorce	006	153 985	0.01	0.31	23.53	76.15	
Cedral	007	106 644	0.07	1.62	60.15	38.16	
Charcas	015	132 155		0.73	39.66	59.61	
Matehuala	020	88 559	0.30	17.76	81.32	0.62	
Mexquitic	021	38 675		0.24	25.10	74.52	0.15
Moctezuma	022	73 511		1.05	40.80	58.14	
Salinas	025	65 379	0.07	0.50	14.29	85.13	
Santo Domingo	033	207 371	0.00	0.66	42.61	56.73	
Vanegas	044	215 170	0.03	1.50	71.78	26.69	
Venado	045	96 953		1.19	60.63	38.18	
Villa de Arista	056	16 074		3.53	82.00	14.47	
Villa de Arriaga	046	42 189	0.01	0.12	22.05	76.29	1.52
Villa de Guadalupe	047	116 212		5.70	78.89	18.41	
Villa de la Paz	048	13 660		1.43	80.41	17.99	0.17
Villa de Ramos	049	148 371		0.13	9.60	90.72	
Villa de Reyes	050	78 705	0.14	9.12	69.12	21.15	0.48
Total (ha)		1 649 435	639	41 432	780 763	824 190	2 411

Source: Authors' self-made with the outlined methodology data.

Fuente: Elaboración propia con la metodología expuesta.

in which the ideal conditions exist to sustain the crop and to a certain extent guarantee effective development of the plants. That is, they allow that through a technical-scientific support an optimal placement of new plantations of prickly pear nopal is carried out in territories with differentiated characteristics in ranges of suitability (very high, high, medium, low and very low), seen as a gradual transition of space by virtue of the suitability that benefits the crop (Romano et al., 2015), which promotes beneficial impacts on the environment as pointed out by SAGARPA-UAZ (2015), based on territorial planning (Trabichet, 2022), with a contribution to the economic context and food security in the semi-desert area of the Potosino state.

Geotechnologies such as spatial analysis, EEMC and UCAcum, allow the characterization of a given territory with a desired vocation, which allows estimating resilient scenarios as pointed out by Arharya et al. (2019), contributing to the improvement in the

tan con muy baja aptitud, lo anterior considerando como base territorial el padrón de la superficie de El Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares, PROCEDE (Figura 4).

La aptitud para el establecimiento del cultivo de nopal tunero (*Opuntia spp*) a nivel municipal tuvo su mayor extensión territorial en Vanegas con 215 170 ha, seguido de Santo Domingo con 207 371 ha, Catorce con 153 985 ha, Villa de Ramos con 148 371 ha, Charcas con 132 155 ha, Villa de Guadalupe con 116 212 ha, Cedral con 106 644 ha, Venado con 96 953 ha, Matehuala con 88 559 ha, Villa de Reyes con 78 705 ha, Moctezuma con 73 511 ha, Salinas con 65 379 ha, Ahualulco con 55 822 ha, Villa de Arriaga con 42 189 ha, Mexquitic con 38 675 ha, Villa de Arista con 16 074 ha y Villa de la Paz con 13 660 ha. Además, en la tabla se evidencia por nivel de aptitud cuanto porcentaje está en las categorías de muy alta, alta, media, baja y muy baja (Cuadro 5).

socio-environmental context of the region, with contributions to the economy, food safety and favoring ecosystem services, which brings with it positive impacts on the social environment as pointed out by Savino et al. (2019). Our research allows to support and strengthen strategic decision-making in agricultural matters, with direct implications for the social network, since the UMPNT and M SLP uses these inputs to direct and implement new plantations of the crop in the semi-desert portion of the state of Potosí.

An appropriate selection of prickly pear nopal plots, makes it possible to trigger the priority axes of the UMPNT and M SLP, improve crop production and productivity, mitigate the effects of climate change and promote soil conservation for the benefit of biodiversity, as well as trigger social impact on nopal, prickly pear (tuna) and maguey producers in the Potosí highlands. Seen from the perspective of an emerging approach authors such as Riba et al. (2021), point out that they promote food safety and sustainability, encourage resource conservation and contribute to a profitable economy in arid areas. It is even an essential territorial prioritization strategy in the agricultural context (Cantos et al., 2022).

Conclusions

Spatial assessment of suitability for establishing nopal (*Opuntia* spp.) cultivation in the central and Altiplano regions of San Luis Potosí is a novel decision-making strategy for projecting the nopal as a strategic crop in the region. The potential of the model lies in its ability to locate perfectly defined (georeferenced) areas classified according to their suitability, defined and characterized using technical and scientific evidence that facilitates strategic land selection, allowing for the consolidation of the strategic axes of the UMPNT and M SLP, promoting food safety, the local and regional economy, benefits in climate change mitigation and soil conservation, as well as preserving the region's biodiversity.

Acknowledgements

To the Unión Mexicana de Productores de Nopal Tuna y Maguey of the state of San Luis Potosí, to Impulsora del Gran Tunal, as well as to the leader of these projects, Engr. Arturo Tello López for his support and advice during the research, likewise to the

Discusión

El enfoque transdisciplinario de las metodologías de índole espacial como respaldo a la evaluación de condiciones de confort agrícolas permite fortalecer la toma de decisiones estratégicas, ya que posibilita la integración y análisis de variables que identifican superficies territoriales en las que existen las condiciones idóneas para sustentar al cultivo y en cierta medida garantizar un desarrollo efectivo de las plantas. Es decir, permiten que a través de un sustento técnico-científico se realiza una colocación óptima de nuevas plantaciones de nopal tunero en territorios con características diferenciadas en rangos de aptitud (muy alta, alta, media, baja y muy baja), visto como una transición gradual del espacio en virtud de la aptitud que beneficia al cultivo (Romano et al., 2015), lo que promueve impactos benéficos al ambiente como señalan SAGARPA-UAZ (2015), basados en una planificación territorial (Trabichet, 2022), con un aporte al contexto económico y a la seguridad alimentaria en la zona semidesértica del estado Potosino.

Geotecnologías como el análisis espacial, la EEMC y las UCACum, permite la caracterización de un territorio determinado con una vocación deseada, lo que permite, estimar escenarios resilientes como señala Arharya et al. (2019), aportando a la mejora en el contexto socioambiental de la región, con aportes a la económica, seguridad alimentaria y favoreciendo los servicios ecosistémicos, lo que trae consigo impactos positivos en el entorno social como señalan Savino et al. (2019). Nuestra investigación permite dar soporte y fortalecer en la toma de decisiones estratégica en materia agropecuaria, con implicaciones directas al tejido social, ya que, la UMPNTyM SLP, utiliza estos insumos para direccionar e implementar nuevas plantaciones del cultivo en la porción semi-desértica del estado potosino.

Una selección adecuada de parcelas de nopal tunero, hace factible detonar los ejes prioritarios de la UMPNTyM SLP, mejorar la producción y productividad del cultivo, mitigar los efectos del cambio climático y promover la conservación del suelo en beneficio de la biodiversidad, así como detonar la incidencia social en productores de nopal, tuna y maguey en el altiplano potosino. Visto desde la perspectiva de un enfoque emergente autores como Riba et al. (2021), señalan que promueven la seguridad y

national leader Engr. Omar Carpio Flores and all the members of the UMPNTand M SLP especially those from the Álvaro Obregón and Miguel Hidalgo ejidos in Mexquitic de Carmona S.P.

End of English version

References / Referencias

- Acharya, P., Biradar, C., Louhaichi, M., Ghosh, S., Hassan, S., Moyo, H., & Sarker, A. (2019) Finding a Suitable Niche for Cultivating Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica*) as an Integrated Crop in Resilient Dryland Agroecosystems of India. *Sustainability*, 11(21), 5897; <https://doi.org/10.3390/su11215897>
- Aguirre-Salado, C., Valdez-Lazalde, J., Sánchez-Díaz, G., Miranda-Aragón, L., & Aguirre Salado, A. (2015). Modelling site selection for tree plantation establishment considering different decision scenarios. *Journal of Tropical Forest Science*. 27(3): 298-313.
- Bravo, H., & Scheinvar, L. (1999). El interesante mundo de las cactáceas. 2a ed. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 233 p.
- Bustillos-Herrera, J., Valdez-Lazalde, R., Aldrete, A., & González-Guillén, M. (2007). Aptitud de terrenos para plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden): definición mediante el Proceso de Análisis Jerarquizado y SIG. *Agrociencia*. 41: 787-796.
- CABI. (2019). *Opuntia ficus-indica* (prickly pear). (On line consultado August 25 2019) <https://www.cabi.org/isc/datasheet/37714#tosummaryOfInvasiveness>
- Campos, H., Lazarte, L., Ramírez, K., Meneses, R., Espinoza, J., & Acha, N. (2016). Recuperación y valorización de cactáceas, para uso forrajero, como una forma de adaptación al cambio climático para apoyar la producción animal en zonas áridas y semiáridas de Bolivia. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*. 13(14): 815-826.
- Cantos Sánchez, E. A., Inga Campoverde, J. A., Macías Hernández, D. J., & Martínez Carriel, T.F. (2022) Los sistemas de Información Geográfica aplicados a la agricultura de precisión. *PEN-TACIENCIAS*. Vol 4(3). <https://editorialalema.org/index.php/pentacencias/article/view/131/182>
- Ceballos Silva, A. P., & Lopez Blanco, J. (2011). Delimitación de áreas adecuadas para cultivos de alternativa una evaluación multicriterio SIG. *CAB International*, <https://www.cabdigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20113252661>
- Colins, J., Sashikumar, M. C., Anas, P. A., & Kirubakaran, M. (2016). GIS-based assessment of aquifer vulnerability using DRAS-

sostenibilidad alimentaria, fomenta el cuidado de recursos y aporta en una economía rentable en zonas áridas. Incluso, resulta una estrategia de priorización territorial esencial en el contexto agropecuario (Cantos et al., 2022).

Conclusiones

La evaluación espacial de aptitud para el establecimiento del cultivo de nopal (*Opuntia* spp.), en las regiones centro y Altiplano del estado potosino, resulta una estrategia novedosa en la toma de decisiones para proyectar al nopal como un cultivo estratégico en la región. Las potencialidades del modelo radican en que posibilita ubicar áreas perfectamente definidas (georreferenciadas) catalogadas en un nivel de aptitud, definidas y caracterizadas mediante un sustento técnico-científico que potencializa una selección parcelaria estratégica, que permite consolidar los ejes estratégicos de la UMPNTyMSLP, favoreciendo la seguridad alimentaria, la economía local y regional, beneficios en la mitigación del cambio climático y la conservación de suelos, así como a preservar la biodiversidad de la región.

Agradecimientos

A la Unión Mexicana de Productores de Nopal Tuna y Maguey del estado de San Luis Potosí, a la Impulsora del Gran Tunal, así como a líder de estos proyectos Ing. Arturo Tello López por el acompañamiento y asesoría durante la investigación, de igual manera al líder nacional Ing. Omar Carpio Flores y todos los agremiados de la UMPNTyM SLP especialmente de los ejidos Álvaro Obregón y Miguel Hidalgo en Mexquitic de Carmona S.L.P.

Fin de la versión en español

- TIC Model: A case study on Kodaganar basin. *Earth Science Research Journal*. 20(1). <http://dx.doi.org/10.15446/esrj.v20n1.52469>
- CONABIO & University of Kansas. (2017). Nichos y áreas de distribución. [En línea] disponible en el sitio <http://nicho.conabio.gob.mx/la-calibracion-del-modelo/maxent>
- Delgado-Caballero, C., Valdez-Lazalde, J., Fierros-González, A., Santos-Posadas, H., & Gómez-Guerrero, A. (2010). **Aptitud de áreas para plantaciones de eucalipto en Oaxaca y Veracruz: proceso de análisis jerarquizado vs álgebra**. *Revista*

- Mexicana de Ciencias Forestales*. 1: 123-133.
- FAO. (2019). Cultivos tradicionales, (On line consultado September 04 2019) <http://www.fao.org/traditional-crops/cactuspear/es/>
- Gallegos, V. C., & Mondragón, C. J. (2011). Cultivares selectos de tuna, de México al mundo. SNICS-SAGARPA-UACH. Chapingo, México. 159 p.
- Hernández-Bonilla, B. E., Ruiz-Reynoso, A. M., Ramírez-Cortés, V., Sandoval-Trujillo, S. J., & **Dávila-Hernández, M. (2020). Análisis económico de productores y comercializadores de nopal en el Valle de Teotihuacán.** *Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración*. RICEA. 9 (7). DOI: <https://doi.org/10.23913/ricea.v9i17.147>
- INEGI. (2010). Guía de interpretación de cartografía edafológica. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [En línea] disponible en el sitio: <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EdafIII.pdf>
- INEGI. (2011). Diccionario de Datos de Erosión del Suelo Escala 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [En línea] disponible en el sitio: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/edafologia/metadatos/dicc_erosion.pdf
- INEGI. (2015). Guía para la Interpretación de Cartografía Edafológica <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/edafologia/default.aspx>
- INIFAP. (2017). Cálculo de Grados Día. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. [En línea] disponible en el sitio: <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/aplicaciones/ucalor.aspx>
- Jarquín, G. R., & Ramírez, H. M. (2009). Avances en la Producción y Certificación Participativa de Nopal Orgánico en el Altiplano Potosino. *Agricultura Orgánica*. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/63617096/agricultura-organica>
- Kiesling, R., & Metzger, D. (2018). Origen and taxonomía de *Opuntia ficus-indica*. En *Ecología del Cultivo, Manejo Y Usos del Nopal*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas en Zonas Áridas. Roma, 2018. <http://www.fao.org/3/i7628es/i7628ES.pdf>
- Keiko, A.H., Falk, H., Lindgren, M.A. (2013). A global model of avian influenza prediction in wild birds: the importance of northern regions. [Acceso el 02 de mayo de 2024]; *Vet Res*. 44:(42). <https://doi.org/10.1186/1297-9716-44-42>
- Koull, N., Helimi, S., Mihoub, A., Mokhtari, S., Kherraze, M. E., & Aouissi, Hani A. (2022). Developing a Land Suitability Model for Cereals in the Algerian Sahara Using GIS and Hierarchical Multicriteria Analysis. *International journal of agriculture and natural resources*, 49(1), 36-50. <https://dx.doi.org/10.7764/ijanr.v49i1.2323>
- Luna-Vázquez, J., Zegb-Domínguez, J. A., Mena-Covarrubias, J., & Rivera-Lozano, M. T. (2012) Manejo de Plantaciones de Nopal Tunero en el Altiplano Potosino. Centro de Investigación Regional del Noreste; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. [En línea] ISBN 978-607-425-884-4 Clave INIFAP/CIRNE/A-502 Primera edición 2012 [Consultado el 12 de noviembre de 2019] <http://www.zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/planNopTun.pdf>
- Malcewski, J. (2004). GIS based land use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning*. 62:3-65.
- Malczewski, J., & Rinner, C. (2010). Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science. *Springer Berlin*. 331 p.
- Masocha, M., & Dube, T. (2017). Modelling *Opuntia fulgida* invasion in Zimbabwe. *Transactions of the Royal Society of South Africa*. 72(3). <https://doi.org/10.1080/0035919X.2017.1301593>
- McMaster, G.S., & Wilhelm, W. W. (1997). Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 87(4), pp.291-300.
- Mendoza, G. A., & Martins, H. (2006). Multicriteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest, Ecology and Management*. 230:1-22.
- Mora, M. (2018). Mercado, estrategias y limitaciones de comunicación. En *Ecología del Cultivo, Manejo y Usos del Nopal*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas en Zonas Áridas. Roma, 2018. <http://www.fao.org/3/i7628es/i7628ES.pdf>
- Negrete Mundo, A. L., Montiel Huerta, M. E., Vargas Matamoros K. L., & Torres López, A. (2020). Plan de negocios para la comercialización de nopal cumpliendo con el sello orgánico SAGARPA en *Miscelánea Científica en México* Tomo VI: Ingeniería, Temacilli EDITORIAL Lagos de Moreno, Jalisco. Centro de Investigaciones en Óptica, A. C. ISBN 978-607-8358-92-2.
- SEDARH (2020) Sistema Estatal de Información Agropecuaria. Cierre Agrícola. Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Recursos Hidráulicos. [En línea] <https://sedarh.gob.mx/seia/cultivos/nopalitos>
- SIAP (2020). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Acciones y Programas. Cierre de Producción Agrícola. [En línea] https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/
- Olivas-Gallegos, U., Valdez-Lazalde, J., Aldrete, A., González-Guillén, M., & Vera-Castillo, G. (2007). Áreas con aptitud para establecer plantaciones de maguey cenizo: definición mediante análisis multicriterio y SIG. *Revista Fitotecnica Mexicana*. 30(4): 441-419.

- Pati Limachi, A., & Ramos Flores, M. E. (2021). Análisis multicriterio para la identificación de áreas agroecológicas para el centro experimental Cota Cota, Ciudad de La Paz-Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(2), 102-112. <https://doi.org/10.53287/ehoi6370fd86e>
- Patidar, V. (2007). Multi-objective optimization for bridge management systems. *Transportation Research Board*. 67: 90 p.
- POMCA (2014). Pendientes. Fase de Diagnóstico POMCA-RLOD (Código 2118). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica*. https://cortolima.gov.co/images/POMCA/Rio_Luisa/IIIFase_de_Diagnostico/3.6%20PENDIENTES.pdf
- Riba, A. E., Carmona, F. B., Tejada, J. D., Portugal-Murcia, E. A., Pérez, M. A., Ríos, C. E., & Riperto, A. A. (2021). Tecnologías emergentes aplicadas a problemas agrícolas en regiones áridas. *Red de Universidades con Carreras en Informática (RedUNCI)*. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/120283>
- Roldan-Cruz, E. I., & Chavarría Miranda, H. (2020). Nopal/tuna, mercado y territorio en México: un enfoque de capacidades. *Eutopía, Revista de Desarrollo Económico Territorial*. DOI 10.17141/eutopia.21.2022.5435
- Romano, G., Dal Sasso, P., Trisorio Liuzzi, G., & Gentile, F. (2015). Multi-criteria decision analysis for land suitability mapping in a rural area of Southern Italy. *Land Use Policy*, 48, 131-143. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.013>
- SAGARPA. (2015). Estudio de factibilidad para el establecimiento de cultivo de nopal (Opuntia) en tierras ociosas en los estados de Aguascalientes, Guanajuato y Zacatecas, integrando un catálogo de paquetes tecnológicos con fines alimenticios, energéticos y ambientales. Promoción de Proyectos Mapa De Proyectos "Nopal". http://www.sagarpa.gob.mx/ProgramasSAGARPA/2015/Productividad_y_competitividad_agroalimentaria/Programa_regional_de_desarrollo_previsto_en_el_PND.pdf
- SAGARPA-UAZ. (2015). Estudio de factibilidad para el establecimiento de cultivo de nopal (opuntia) en tierras ociosas en los estados de Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato y Zacatecas con fines alimenticios, energéticos y ambientales. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346982/Nopal_Detallado.pdf
- Salcedo, D., Padilla, O., Morales, B., & Toulkeridis, T. (2017). Landslide Susceptibility Mapping Using Fuzzy Logic And Multicriteria Evaluation Techniques On Simón Bolívar Highway, Quito. *Revista GEOESPACIAL*. 14 (2): 1-20. ISSN: 2600-5921. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-geoespacial>
- Salvatore, M., Kassam, A., Gutiérrez, A. C., Bloise, M., & Marinelli, M. (2017). Metodología de Evaluación de Aptitud de Tierras. FAO. [En línea] consultado el 25 de noviembre de 2018: <http://www.fao.org/docrep/013/i1708s/i1708s02.pdf>
- Saqib-Khan, M., Qadir, A., Javed, A., Mahmood, K., Raiees-Amjad, M., & Shehzad, S. (2016). Assessment of aquifer intrinsic vulnerability using GIS based Drastic model in Sialkot area, Pakistan. *Internatinal Journal Economic and Environment Geological*. 7(1): 73-84. <http://econ-environ-geol.org/index.php/ojs/article/view/134>
- Savino, C. D., Zerda, H. R., & Diodato, L. (2019). **Áreas aptas para producción sustentable de *Dactylopius coccus* costa y *Opuntia ficus-indica*** en Santiago del Estero, Argentina. *Anales Científicos*, Vol. 80: (1) <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=25669>
- Savino, C. D., Zerda, H. R., & Diodato, L. (2019). Áreas aptas para producción sustentable de *Dactylopius coccus* costa y *Opuntia ficus-indica* en Santiago del Estero, Argentina. *Anales Científicos*. ISSN-e 2519-7398. 80 (1): 122-131
- Scheinvar, L., Olalde, G., & D. Sule. (2011). Especies silvestres de nopales mexicanos. Universidad Nacional. Autónoma de México. Instituto de Biología. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. GE005. México D.F.
- Scheinvar, L., Olalde, G., Gámez, N., Sánchez-Cordero, V., Linaje, M., Segura, S., Gallegos, C., Filardo, S., & Olvera, D. (2007). Biodiversidad de las especies silvestres mexicanas de *Opuntia* spp. y *Nopalea* spp. (cactaceae). In: Recursos Fitogenéticos de Nopal (*Opuntia* spp.) en México:2002-2005. C. Gallegos V. (Compilador). SNICS-SAGARPA-UACH. Chapingo, México. 36-59 pp.
- Scheinvar, L., Olalde-Parra, G., Gallegos-Vazquez, C., & Morales-Sandoval J. (2018). A new species of *Opuntia* (Cactaceae) from Coniferous and *Quercus* Forest of northern Mexico. *Bradleya*, 36:25-32. *British Cactus and Succulent Society*. <https://doi.org/10.25223/brad.n36.2018.a4>
- SEDEA. (2017). Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de Querétaro. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Características descriptivas de nopal. [En línea] <http://sedea.queretaro.gob.mx/sites/sedea.queretaro.gob.mx/files/NOPAL.pdf>
- Sopla-Mas J., Rojas-Briceño, N. B., Meza-Mori, G., & Salas-López, R. (2018). Zoning of potential areas for the development of silvopastoral systems in the microbasin Lluhca, Chachapoyas, Amazonas. *Revista de investigaciones. Agroproducción sustentable* 2(3): 69-76. ISSN: 2520-9760. DOI:10.25127/aps.20183.406
- Torres-Ponce, R. L., Morales-Corral, D., Ballinas-Casarrubias, M. L., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2015). Nopal: semi-desert plant with applications in pharmaceuticals, food and animal nutrition. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 6, núm. 5, junio-agosto, 2015, pp. 1129- 1142. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263139893015>

- Trabichet, F. C. (2022). Construcción cuantitativa de mapas de aptitud climática mediante evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica. Dossier: Análisis espacial e investigación cuantitativa con Tecnologías de la Información Geográfica, <https://posicion-inigeo.unlu.edu.ar/posicion/article/view/18>
- Vázquez-Alvarado, R. E., Blanco-Macías, F., Ojeda-Zacarías, M. C., Martínez-López, J. R., Valdez-Cepeda, R. D., Santos-Haliscak, A., & Háuad-Marroquín, L. A. (2010). Reforestación a base de nopal y maguey para la conservación de suelo y agua. *Revista de Salud Pública y Nutrición*.
- WorldClim (2020) Bioclimatic variables. [En línea] <https://www.worldclim.org/data/bioclim.html>
- Zardari, N., Ahmed, K., Shirazi, S., & Yusop, Z. (2014). Weighting Methods and Their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management. *Springer*. 166.

APPENDICES / ANEXOS

Appendix 1. Macroenvironmental variables of the Bioclim global database.

Anexo 1. Variables macro ambientales de la base global Bioclim.

Variable	Units/ Unidades
BIO1 = Average annual temperature / BIO1 = Temperatura media anual	
BIO2 = Average diurnal range (Monthly average (maximum temp - minimum temp) / BIO2 = Rango medio diurno (Media mensual (temp máxima - temp mínima)	
BIO3 = Isothermality (BIO2/BIO7) (×100) / BIO3 = Isotermalidad (BIO2/BIO7) (×100)	
BIO4 = Seasonality of temperature (standard deviation ×100) / BIO4 = Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar ×100)	
BIO5 = Maximum temperature of the warmest month / BIO5 = Temperatura máxima del mes más cálido	°C
BIO6 = Minimum temperature of the coldest month / BIO6 = Temperatura mínima del mes más frío	
BIO7 = Annual temperature range (BIO5-BIO6) / BIO7 = Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)	
BIO8 = Average temperature of the wettest quarter / BIO8 = Temperatura media del trimestre más húmedo	
BIO9 = Average temperature of the driest quarter / BIO9 = Temperatura media del trimestre más seco	
BIO10 = Average temperature of the warmest quarter / BIO10 = Temperatura media del trimestre más cálido	
BIO11 = Average temperature of the coldest quarter / BIO11 = Temperatura media del trimestre más frío	
BIO12 = Annual precipitation / BIO12 = Precipitación anual	
BIO13 = Rainfall of the wettest month / BIO13 = Precipitación del mes más lluvioso	
BIO14 = Precipitation of the driest month / BIO14 = Precipitación del mes más seco	
BIO15 = Seasonality of precipitation (coefficient of variation) / BIO15 = Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)	mm
BIO16 = Precipitation of the wettest quarter / BIO16 = Precipitación del trimestre más húmedo	
BIO17 = Precipitation of the driest quarter / BIO17 = Precipitación del trimestre más seco	
BIO18 = Precipitation of the warmest quarter / BIO18 = Precipitación del trimestre más cálido	
BIO19 = Precipitation of the coldest quarter / BIO19 = Precipitación del trimestre más frío	
BIO20 = Altitude / BIO 20 = Altitud	m.s.n.m



Potential areas for jalapeño pepper production in Quintana Roo, México

Claudia-Tania, Lomas-Barrié¹
Emiliano Loeza-Kuk^{1*}
Rubén Darío Góngora-Pérez²

Abstract

The sustainability of agricultural systems depends on territorial planning based on the suitability of the target crop (Land Suitability Analysis, LSA). In Quintana Roo, Mexico, commercial rainfed production of jalapeño pepper (*Capsicum annum* L.) has decline over the past decade, even though the region offers favorable agroclimatic conditions for production during periods of lower competition in the national market. The objective of this study was to identify areas with the highest ecological suitability for sustainable production, using a methodology that integrates landscape units as a cartographic base and multicriteria evaluation (MCE) as a decision-making tool. Soil and climatic variables were considered within ecological framework. The results show that 19.0 % of the state's territory is suitable for cultivation without compromising natural vegetation through land-use change. The maps indicate levels of suitability and sensitivity for landscape units at a 1:20000 scale, providing valuable information for local agricultural territorial planning.

Keywords: Landscape units, land-use-planning, *Capsicum annum* L., land suitability analysis (LSA)

Zonas potenciales para la producción de chile Jalapeño en Quintana Roo, México

Resumen

La sostenibilidad de los sistemas agrícolas depende de la planificación territorial basada en la idoneidad del cultivo objetivo (Land Suitability Analysis, LSA). En Quintana Roo, México, la producción comercial en temporal de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) ha disminuido en la última década, a pesar de que el territorio tiene condiciones agroclimáticas favorables para producir durante ventanas de menor competencia en el mercado nacional. El objetivo de este estudio fue identificar las áreas con mayor aptitud ecológica para la producción sostenible del cultivo, mediante una metodología que integra como base cartográfica las unidades de paisaje y la evaluación multicriterio (EMC) como herramienta de decisión. Se consideraron variables edáficas y climáticas bajo un enfoque ecológico. Los resultados muestran que el 19.0 % del territorio estatal es apto para el cultivo, sin comprometer áreas de vegetación natural por cambio de uso del suelo. La cartografía indica niveles de aptitud y de sensibilidad de las unidades de paisaje escala 1:20000, aportando elementos para la planificación territorial agrícola local.

Palabras clave: Unidades de paisaje, ordenación de tierras, *Capsicum annum* L., análisis de la idoneidad de los cultivos (LSA)

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, CIRSE-C.E. Mocochoá, Yucatán, carretera Mérida-Motul km 25.5 Mocochoá, Yucatán, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CIRSE-C.E. Quintana Roo, Carretera Chetumal-Bacalar km 24, Xul-Ha, Othon P. Blanco, Quintana Roo, México.

*Corresponding author: loeza.emiliano@inifap.gob.mx Tel: 0180008822 Ext. 88232, ORCID ID: 0000-0002-1435-7516

Introduction

Unplanned establishment of cultivation areas results in wasted resources, lower profits for producers, and degradation of natural vegetation. In Quintana Roo, Mexico, jalapeño pepper was the primary rainfed vegetable crop for more than 40 years (García & Nava, 2010; Tuz, 2015). In 2006, production reached 28 000 tons (t) across 2 498.5 hectares (ha). However, starting in 2013, production began to decline, and by 2019 the reported cultivation area had decreased to 105 ha (Tuz, 2015; CESAVEROO, 2019; SIAP, 2024).

The causes of this decline are likely multifactorial (Keys & Roy-Chowdhury, 2006), including phytosanitary constraints such as *Bemisia tabaci* Gennadius and the *Phytophthora capsici* Leo complex (Díaz-Plaza et al., 1996, Robles-Hernández et al., 2010, Loeza-Kuk et al., 2014, Castro-Rocha et al., 2012). Environmental constraints such as losses from droughts and hurricane-induced flooding have also contributed (Schnaid-Cámara, 2017, Gurri-García & Vallejo-Nieto, 2007). In addition, economic limitations, including intermediaries in the supply chain (Keys & Roy-Chowdhury, 2006) and technological disparities (García & Nava, 2010) have resulted in unprofitable production (Ayala et al., 2008; Ortega, 2020).

Despite the factors mentioned, the region offers a favorable climatic period for producing fresh jalapeño peppers outside the traditional rainfed season. Unlike other regions of the country, growth and flowering are not hampered by temperatures below 15 °C (Bakker & Van-Uffelen, 1988; García & Nava, 2010; Gaspar-Moctezuma, 2019). This highlights the need to identify the most suitable areas for cultivating jalapeño peppers in Quintana Roo.

Geographic approaches for evaluating the productive potential of a territory are generally grouped into two main categories (Plantinga, 2015; Vasu et al 2018; Mugiyo et al 2021). The first is the biophysical and pedological approach, which identifies the constraints and suitability of the land for specific agricultural uses and has been applied by Medina-García et al. (1997); Díaz-Padilla et al. (2012); Ruiz et al. (2013); Medina-García et al. (2016). The second category corresponds to spatial-socioeconomic approaches, which integrate crop requirements, management practices and human factors. This approach provides the methodological basis for this study.

Introducción

El establecimiento de zonas de cultivo sin planeación conlleva al desperdicio de recursos y pérdidas en las ganancias de los productores, así como el deterioro de la vegetación natural. En Quintana Roo, México, por más de 40 años el chile jalapeño fue la principal hortaliza cultivada en régimen de temporal (García & Nava, 2010; Tuz, 2015), en 2006 se registraron 28 000 toneladas (t) en 2 498.5 hectáreas (ha). A partir del 2013 inició su declive y en 2019 la superficie reportada fue de 105 ha (Tuz, 2015; CESAVEROO, 2019; SIAP, 2024).

Las causas de dicha caída deben ser multifactoriales (Keys & Roy-Chowdhury, 2006), desde restricciones fitosanitarias como *Bemisia tabaci* Gennadius y el complejo *Phytophthora capsici* Leo (Díaz-Plaza et al., 1996, Robles-Hernández et al., 2010 y Loeza-Kuk et al., 2014, Castro-Rocha et al., 2012). Restricciones ambientales como pérdidas por sequía e inundaciones por huracanes (Schnaid-Cámara, 2017, Gurri-García & Vallejo-Nieto, 2007). Adicionalmente, enfrenta restricciones económicas como el intermediarismo (Keys & Roy-Chowdhury, 2006) y la desigualdad tecnológica (García & Nava, 2010) que provocan una producción no rentable (Ayala et al., 2008; Ortega, 2020).

A pesar de los factores enunciados, la región posee una ventana climática de oportunidad para el chile fresco fuera del temporal, a diferencia de otras regiones del país, no hay limitante de crecimiento y aborto de flores por temperaturas menores a 15 °C (Bakker & Van-Uffelen, 1988; García & Nava, 2010; Gaspar-Moctezuma, 2019), esto plantea la necesidad de delimitar las mejores áreas para cultivar chile jalapeño en Quintana Roo.

Los enfoques geográficos para evaluar el potencial productivo de un territorio se agrupan en dos ejes principales (Plantinga, 2015; Vasu et al 2018; Mugiyo et al 2021). El enfoque biofísico y pedológico que define las restricciones y la aptitud del territorio para un uso agrícola específico y han sido empleados por Medina-García et al. (1997); Díaz-Padilla et al. (2012); Ruiz et al. (2013); Medina-García et al. (2016). Mientras que el segundo eje corresponde a los enfoques espaciales-socioeconómicos. Éstos integran las necesidades del cultivo, las prácticas de manejo y los factores humanos; este enfoque constituye la base

In 1978, Ortiz-Solorio & Cuanalo de la Cerda delineated polygons known as land units through satellite-image photointerpretation. These units are areas that are homogeneous in their biophysical characteristics and land use, representing an operational level with a hierarchical degree of aggregation depending on the scale. According to Turner & Robbins (1989), Salinas (1997) and Mendoza & Bocco (1998), these areas are defined as geocological landscape units (LU), which integrate physical-environmental properties and current and potential anthropogenic uses at the ecological landscape scale.

Geographic Information Systems (GIS) streamline the photointerpretation of satellite imagery and can incorporate tools such as Multicriteria Evaluation (MCE) to explore alternatives involving multiple criteria and conflicting objectives (Barredo, 1996; Malczewski, 1999; Dang, 2024). This approach has been used to analyze the productive potential of maize, beans, sorghum, chickpea, wheat, alfalfa, grasses and maguey in Mexico (García-Nieto et al., 1999; Echavarría-Chávez & Medina-García, 2015; Sotelo-Ruiz et al., 2016).

The objective of this study was to develop a 1:20000 scale zoning analysis by integrating landscape units as the cartographic basis and Multicriteria Evaluation (MCE) to identify and characterize the regions with the highest productive potential for jalapeño pepper in Quintana Roo, Mexico.

Methodological Approach

To identify the potential zones for growing jalapeño pepper, the base cartography of the landscape units was generated. The SPOT 6 & 7 composite satellite image used was captured by the ERMEX antenna (2020) during the dry season (01/11/2017 - 30/04/2018), cloud-free and with near-vertical passes ($\pm 12^\circ$), at 1.5 m resolution and processing level 3A. The images were photo interpreted in the QGIS Girona v3 GIS software, using a minimum mappable area of 1cm². The initial interpretation was performed at a 1:250000, scale, from which LU in agricultural-use areas were selected and subsequently subdivided at a 1:20000 scale. Each land unit was then described based on its geometric and land-use patterns for classification.

To validate the agricultural landscape units identified *in silico*, the coordinates of jalapeño pepper,

metodológica del presente estudio.

Ortiz-Solorio & Cuanalo de la Cerda en 1978, delimitaron mediante fotointerpretación de imágenes de satélite, polígonos denominados unidades de tierra. Estas unidades son áreas homogéneas en sus características biofísicas y de uso, que constituyen un nivel operativo, con un nivel de agregación jerárquico dependiendo de la escala. Para Turner & Robbins (1989), Salinas (1997) y Mendoza & Bocco (1998) estas áreas las definen como unidades geocológicas de paisaje (UP), que integran propiedades físico-ambientales, así como usos antropogénicos actuales y potenciales, en la escala ecológica de paisaje.

Los sistemas de información geográfica (SIG) agilizan la fotointerpretación de imágenes de satélite, y pueden agregar herramientas como la Evaluación Multicriterio (EMC) en la búsqueda de alternativas para múltiples criterios y objetivos en conflicto (Barredo, 1996; Malczewski, 1999; Dang, 2024). Este enfoque ha sido utilizado para el análisis de potencial productivo de maíz, frijol, sorgo, garbanzo, trigo y alfalfa, pastos y maguey en México (García-Nieto et al., 1999; Echavarría-Chávez & Medina-García, 2015; Sotelo-Ruiz et al., 2016).

El objetivo de esta investigación fue realizar una zonificación escala 1:20000 integrando como base cartográfica las UP y la EMC para identificar y caracterizar las regiones con mayor potencial productivo para chile jalapeño en Quintana Roo, México.

Enfoque Metodológico

Para la identificación de las zonas potenciales del cultivo de chile jalapeño, se generó la cartografía base de las UP. La imagen del satélite compuesta SPOT 6 & 7 utilizada, fue capturada por la antenna ERMEX (2020) de la época seca (01/11/2017 - 30/04/2018), sin nubes y con pasos cercanos a la vertical ($\pm 12^\circ$), de 1.5 m y con nivel 3A de procesamiento. Las imágenes se fotointerpretaron en el SIG QGIS Girona v3, con el área mínima cartografiable de 1cm² primero a escala 1:250000, se seleccionaron las UP de áreas de uso agrícola, y se subdividieron a escala 1:20000. A cada UP se describieron sus patrones geométricos y de uso para su clasificación.

Para validar las UP agrícolas identificadas *in silico*, se sobrepusieron las coordenadas de las zonas de cultivo de chile jalapeño, chile habanero y otras hor-

habanero pepper, and other vegetable production areas from 2014 to 2019, recorded in the database of the Comité Estatal de Sanidad Vegetal of Quintana Roo, were overlaid.

Internal homogeneity and external heterogeneity with adjacent units were verified at 55 sites selected *a priori* with potential for cultivation or with a history of past cultivation, as well as at sites corresponding to landscape units with natural vegetation. At each selected unit, *in situ* variables were recorded, including land use, irrigation type, current crop, landscape fragmentation, soil fragility, and erosion risk, following a standardized form (supplementary material). To delineate LU boundaries, RGB images were captured with a UAV (Dji, Mavic2) during dry-season flights at an altitude of 100 meters. In addition, composite soil samples were collected according to standard protocol at a depth of 15 cm. Samples were dried, pulverized, homogenized at each site, and sent to the certified laboratory Fertilab to determine pH and soil texture using the Bouyoucos method.

To characterize thermal and rainfall conditions, data from 40 conventional weather stations with more than 30 years of records (1961 a 2024) were obtained from the CONAGUA database (2024). Additionally, climate polygon maps for the state were used from García-CONABIO (1998).

Similarly, the 1:250 000 (INIFAP-CONABIO, 2001), terrain slope data (INEGI, 2020), and vegetation map (INEGI, 2017) were compiled and geographically standardized.

Model integration

The theoretical agroecological requirements for the crop were defined according to García & Nava (2010) and Ruiz et al. (2013) (Table 1).

The potential natural instability (En) (Equation 1) was calculated for each landscape unit and soil type from the soil map (INIFAP & CONABIO, 2001), using the methodology adapted from Salinas (1997).

$$En = \frac{A+B+C+D}{TF}$$

TF = Total factors

A, B, C and D = factors used.

Factores:

talizas de 2014 al 2019 registradas en la base de datos del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Quintana Roo.

La homogeneidad interna y heterogeneidad externa con la unidad vecina, fue verificada en 55 sitios seleccionadas *a priori* con aptitud para el cultivo o donde históricamente se hubiese sembrado, así como sitios de UP de vegetación natural. En las unidades seleccionadas se registraron variables *in situ* como: uso de suelo, tipo de riego, cultivo presente, fragmentación del paisaje, fragilidad del suelo y riesgo por erosión, de acuerdo con un formulario (suplemento). Para la identificación de los límites de las UP se tomaron imágenes RGB con un VANT (Dji, Mavic2) en vuelos a 100 metros de altura en los meses secos. Adicionalmente, se colectaron muestras compuestas de suelo según el protocolo estándar a una profundidad de 15 cm, las muestras se secaron, pulverizaron, homogenizaron por sitio, y se enviaron al laboratorio certificado Fertilab para determinar pH y la textura por el método de Bouyoucos.

Para la caracterización de las condiciones térmicas y pluviales, se usaron las bases de datos de CONAGUA (2024) de 40 estaciones convencionales con más de 30 años de registros, del periodo 1961 a 2024. También se utilizó la cartografía de García-CONABIO (1998) para los polígonos de clima en el estado.

Así también se compiló y homologó geográficamente la carta edafológica 1:250 000 (INIFAP-CONABIO, 2001), la pendiente del terreno (INEGI, 2020) y la de vegetación del INEGI (2017).

Integración del modelo

Los requerimientos agroecológicos teóricos para el cultivo se definieron de acuerdo con García & Nava (2010) y Ruiz et al. (2013) (Cuadro 1).

La inestabilidad natural potencial (En) (Ecuación 1) se calculó para cada UP y tipo de suelo de la carta edafológica (INIFAP & CONABIO, 2001), con la metodología adaptada de Salinas (1997).

$$En = \frac{A+B+C+D}{TF}$$

TF = total de factores

A, B, C y D = factores utilizados.

Factores:

Table 1. Agroecological requirements of *Capsicum annum*.
Cuadro 1. Requerimientos agroecológicos de *Capsicum annum*.

Weight* / Peso*	Variable	Category / Categoría	Potential use**/ Uso potencial
7	Soil texture / Textura de suelo	Sandy-clay / Arenos- arcillosos	Suitable / Apto
		Silt / Limo	Unsuitable / NO apto
6	Soil drainage / Drenaje de suelo	Good / Bueno	Suitable / Apto
		Prone to flooding /Inundable	Unsuitable / NO apto
5	Soil salinity / Contenido de sales en el suelo	Low / Bajo	Suitable / Apto
		High / Alto	Unsuitable / NO apto
4	Soil pH / pH del suelo	< 5.5	Unsuitable / NO apto
		5.5 to 7.5	Suitable / Apto
		> 7.5	Unsuitable / NO apto
3	Slope / Pendiente	0-5	Suitable / Apto
		5-10	Moderate / Mediano
		10-15	Low / Bajo
		> 15%	Unsuitable / NO apto
2	Precipitation regime / Régimen de lluvias	Average / Intermedio	Suitable / Apto
		Summer / Verano	Moderate / Mediano
1	Minimum temperature / Temperatura mínima	Average <15 °C / Promedio <15 °C	Unsuitable / No apto

* Variable weight. **Suitability range: 10 = suitable to 5 = unsuitable. / * Peso de la variable. **Rango de aptitud: 10 = apto a 5 = no apto.

Source: Compiled by the authors based on data from García & Nava, 2010; Ruiz et al., 2013.
Fuente: Elaboración propia con datos de (García & Nava, 2010; Ruiz et al., 2013).

A. Potential erosion or susceptibility to erosion according to soil type: low (1), medium (2), and high (3).

A. Erosión potencial o susceptibilidad a la erosión de acuerdo con tipo de suelo: Baja (1), media (2) y alta (3).

B. Soil fragility by soil depth: shallow (3), moderate (2) and deep (1)

B. Fragilidad del tipo de suelo por profundidad de suelo: Superficiales (3), moderado (2) y profundo (1)

C. Organic matter content: low (3), medium (2) and high (1)

C. Concentración de materia orgánica: Baja (3), media (2) y alta (1)

D. Soil age: Young or shallow (3), medium (2) and well-developed or old (1).

D. Edad del tipo de suelo: nuevos o someros (3), medios (2) y bien formados o viejos (1).

The sensitivity of LU to degradation (Table 2) (Shishenko (1988) in Del Risco, 2002), was determined by combining the calculated values of potential natural instability (*En*) (Equation 1) with the potential land use for growing jalapeño pepper (Table 1).

La sensibilidad a la degradación de las UP (Cuadro 2) (Shishenko (1988) en Del Risco, 2002), se obtuvo de la combinación de los valores calculados de la inestabilidad natural potencial (*En*) (Ecuación 1) y del uso potencial para cultivo de chile jalapeño (Cuadro 1).

For the MCE, an evaluation matrix was constructed using the six criteria of the LU described above. The relative importance of each criterion for each land use was determined by assigning a weight ba-

Para la EMC se realizó una matriz de evaluación, con los seis criterios de las UP antes descritos. Se determinó la importancia relativa de cada criterio para

Table 2. Degradation sensitivity of land units for growing jalapeño peppers.
Cuadro 2. Sensibilidad a la degradación de las UP con cultivo de chile.

En	Potential use	LU sensitivity	
High /Alta	Suitable / Apto	Highly sensitive or vulnerable/Muy sensible o vulnerable	1
High /Alta	Moderately suitable / Semiapto	Sensitive type A / Sensible tipo A	2
Medium/ Media	Suitable / Apto	Sensitive type B / Sensible tipo B	3
Medium/ Media	Moderately suitable / Semiapto	Moderately sensitive type A / Moderadamente sensible tipo A	4
High /Alta	Slightly suitable and unsuitable / Poco apto y no apto	Moderately sensitive type B / Moderadamente sensible tipo B	5
Low / Baja	Slightly suitable and unsuitable / Poco apto y no apto	Moderately sensitive type C / Moderadamente sensible tipo C	6
Medium/ Media	Slightly suitable and unsuitable / Poco apto y no apto	Slightly sensitive type A / Poco sensible tipo A	7
Low / Baja	Moderately suitable / Semiapto	Slightly sensitive type B / Poco sensible tipo B	8
Low / Baja	Suitable / Apto	Very slightly sensitive / Muy poco sensible	9

Source: Compiled by the authors
 Fuente: Elaboración propia

sed on expert consultation and the literature. The weighted sum was estimated using the Equation 2 (Shishenko (1988) in Del Risco, 2002):

$$r_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot x_{ij}$$

where:

r_i = capability for growing jalapeño pepper.
 w_j = weight of criterion j , defined based on expert consultation and the literature.
 x_{ij} = value of alternative i for criterion j .

The capability for growing jalapeño pepper (r_i) was integrated into the polygons of landscape units in the generated cartography. To prevent landscape units with potential for jalapeño production from overlapping with Protected Natural Areas (PNA), they were multiplied by a Boolean map (SEMARNAT-CONANP, 2020). LU identified as continuous, unfragmented natural vegetation were labeled using the INEGI (2017) map. For the climatic description of the landscape unit, the García & CONABIO (1998) map was used.

The map algebra was structured in a flowchart (Figure 1).

cada uso del suelo asignándole un peso por consulta a expertos y literatura. Para obtener la suma ponderada se utilizó la Ecuación 2 (Shishenko (1988) en Del Risco, 2002):

$$r_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot x_{ij}$$

donde:

r_i = capacidad para el cultivo de chile jalapeño.
 w_j = peso del criterio j , definido por expertos y literatura.
 x_{ij} = valor de la alternativa i en el criterio j .

Con la capacidad para el cultivo de chile jalapeño (r_i) se integraron a los polígonos de las UP en la cartografía generada. Para evitar que las UP con potencial productivo para el chile jalapeño estuvieran dentro de Áreas Naturales Protegidas (ANP), se multiplicaron con un mapa booleano (SEMARNAT-CONANP, 2020). Las UP identificadas como vegetación natural continua sin fragmentación se etiquetaron usando la carta del INEGI (2017). Para la descripción climática de la UP se usó la carta de García & CONABIO (1998).

El álgebra de mapas se estructuró en un diagrama de flujo (Figura 1).

name of the super-class with a descriptor that distinguishes it from others, based on features such as texture, color tones, landscape continuity (fragmentation), adjacency, and management type. Each class is assigned a unique code for identification in the cartography.

The analysis found that in Quintana Roo, 38.4 % of the territory consists of dense natural vegetation (Veg1), and when combined with other natural vegetation areas (15.9 %), they account for 54.3 %; in contrast, the State Territorial Planning Strategy (EEOT) recognized in 2016 (official gazette, 2022) that 86.51 % of the state's surface corresponds to some type of natural vegetation.

The landscape units represent 23.7 % of the area and could be suitable for agriculture or as conservation areas for natural vegetation. Landscape units with semi-suitable conditions (suitability class 7) were not considered for crop potential, as they represent a land-use change of 796 329 ha, or 17.2 % (Table 3).

The six classes of agricultural landscape units are mainly found in the municipalities of José María Morelos, Felipe Carrillo Puerto, Othón P. Blanco and Bacalar, these municipalities account for 69 657.30 ha of cultivated land, representing 93.78 % (SIAP, 2024).

Verification of the landscape units was conducted at 55 sites in the municipalities of José María Morelos, Felipe Carrillo Puerto, Othón P. Blanco and Bacalar (Figure 2), which concentrate the highest diversity of intermingled landscape units and historical records of jalapeño pepper or vegetable plots. The accuracy of the landscape units in terms of class and boundaries at the validation sites was 85 %.

Among the sampling sites, 54 % were located in agricultural landscape units, 22 % in areas of natural vegetation, and 13 % in livestock farms. At the agricultural sites, the most common crops were mixed crops (22 %), vegetables (19 %), and corn (19 %) (Figure 2). Notably, only two sites with jalapeño pepper were found among the vegetable plots, indicating a possible reduction in the area cultivated with pepper.

Regarding the characteristics of the landscape units visited, 83 % were small producers, 11 % were larger producers practicing extensive management, and 6 % were subsistence farming. Manual tillage was practiced at 71 % of the sites, while 24 % used mechanical tillage. Among the agricultural sites, 61.5 %

tor que las diferencia entre sí, como los elementos de su textura, tonos o continuidad del paisaje (fragmentación), vecindad y tipo de manejo. Cada clase tiene una clave para identificarla en la cartografía.

El análisis reconoció que en Quintana Roo el 38.4 % del territorio son áreas de vegetación natural compacta (Veg1), y sumado a otras áreas de vegetaciones naturales (15.9 %), representan el 54.3 %; en contraste la Estrategia Estatal de Ordenamiento Territorial (EEOT) reconoció en 2016 (Periódico oficial, 2022) que el 86.51 % de la superficie estatal corresponde a algún tipo de vegetación natural.

Las UP de transición representan el 23.7 % de la superficie y podrían ser aptas para la agricultura o como zonas de conservación para la vegetación natural. Las UP con condiciones semiaptas (aptitud 7), no se consideraron para el potencial del cultivo al representar el cambio de uso de suelo de 796 329 ha en 17.2 % (Cuadro 3).

Las seis clases de UP agrícolas se encuentran principalmente en los municipios de José María Morelos, Felipe Carrillo Puerto, Othón P. Blanco y Bacalar, estos municipios representan 69 657.30 ha cultivadas con 93.78 % (SIAP, 2024).

La verificación de las UP se corroboró en 55 sitios en los municipios de José María Morelos, Felipe Carrillo Puerto, Othón P. Blanco y Bacalar (Figura 2). Al concentrar la mayor diversidad de UP entremezcladas y registros de parcelas históricas con chile jalapeño u hortalizas. El grado de asertividad de las UP en términos de clase y límites con los sitios de verificados fue del 85 %.

El 54 % de los sitios fueron en UP de uso agrícola, 22 % con vegetación natural, y finalmente 13 % granjas pecuarias. En los sitios con uso agrícola, prevalecieron los cultivos mixtos (22 %), hortalizas (19 %) y maíz (19 %) (Figura 2). Es de resaltar que en las de hortalizas solo se encontraron dos sitios de chile jalapeño; esto sugiere reducción en la superficie cultivada de chile.

Entre las características de las UP visitadas, el 83 % eran pequeños productores, 11 % grandes productores con manejo extensivo y el 6 % de autoconsumo. En el 71 % se practica la labranza manual y 24 % mecánica. De los sitios agrícolas verificados con riego 61.5 %, presurizado y por gravedad, coincidente con una agricultura poco tecnificada (Ayala et al., 2008). La incorporación de rastrojos es una práctica común, el 53 % de los sitios agrícolas tenían materia orgánica del

Table 3. LU classes and their suitability for growing jalapeño pepper.
Cuadro 3. Clases de las UP y la aptitud para el cultivo del chile jalapeño.

Origin / Origen	Super class / Super clase	Clave clase / Class code	Class name / Nombre de la clase	Crop suitability / Aptitud cultivo	Area ha / Superficie ha	%
Anthropic / Antrópico	Agrícola / Agrícola	Agr1	Intensive dense, large areas (>139 ha), rectangular in shape, irrigated or not. Newly opened and bordered by natural vegetation. / Intensiva Compacta, áreas extensas (>139 ha), de forma rectangular, de riego o no. Recién abiertas y delimitadas por vegetación natural.	10	20 697	0.5
		Agr2	Intensive dense, medium-sized areas, square or rectangular in shape, 50 % rainfed and 50 % irrigated. May or may not include urban areas. Newly opened and bordered by natural vegetation / Intensiva Compacta, áreas medianas, de forma cuadrada o rectangular, 50 % de temporal y 50 % de riego. Pueden o no incluir zonas urbanas. Recién abiertas y delimitadas por vegetación natural.	10	129 381	3.0
		AgrE3	Extensive, small-producer areas, irregular shapes in expansion, up to 50 % rainfed or irrigated, near or within urban areas. Bordered by natural vegetation. / Extensiva, áreas de pequeños productores, formas irregulares en crecimiento, de temporal hasta 50 % o riego, cercanas o zonas urbanas. Delimitadas por vegetación natural.	10	77 053	1.8
		AgrE4	Extensive, small-producer areas, square-shaped, rainfed or irrigated, near population centers. / Extensivas, áreas de pequeños productores, forma cuadrada, de temporal o riego, cercanas a centros de población.	10	23 325	0.5
		AgrE5	Extensive, small new areas, bordered by natural vegetation and respecting changes in terrain slope, up to 75 % rainfed. / Extensiva, áreas pequeñas nuevas, delimitadas por vegetación natural y respetada por cambio en las pendientes del terreno, hasta el 75 % de temporal.	10	13 848	0.3
		AgrE6	Extensiva, no Compacta en sistema de tumba y quema o nuevas unidades de producción, áreas pequeñas de forma irregular, principalmente de temporal, delimitadas por vegetación natural conservada. Lejana a centros de población. / Extensive, non-dense in slash-and-burn systems or new production units, small irregularly shaped areas, mainly rainfed, bordered by conserved natural vegetation. Distant from population centers.	10	566 381	13.0
Natural Transition / Transición Natural	Agricultural Livestock Agícola / Pecuaria	Pz 1 / GS 1	Artificial livestock grassland, with secondary vegetation in succession or abandoned. May be mixed with agricultural areas. / Pastizal artificial ganadero, con vegetación secundaria en sucesión o abandonadas. Puede estar mezclada con zonas agrícolas.	10	9 182	0.2
		VegAgr1	Fragmentada y perturbada, con zonas agrícolas que ocupan entre 50 y 75 %. / Fragmented and disturbed, with agricultural areas occupying 50-75 %.	7	415 628	9.5
	VegAgr2	Fragmented and disturbed with agricultural areas in patches less than 50 %. / Fragmentada y perturbada con zonas agrícolas en manchones menores al 50 %.	7	257 130	5.9	
	VegAgr3	Fragmented and disturbed with agricultural areas in patches less than 25 %. / Fragmentada y perturbada con zonas agrícolas en manchones menores al 25 %	7	73 394	1.7	
	Veg 1	Medium semi-deciduous forest to High evergreen rainforest. / Selva mediana a alta compacta.	1	1 679 255	38.4	
	Veg 2	Shrub forest to medium semi-deciduous forest. / Selva arbustiva y mediana compacta.	1	178 967	4.1	
	Veg3	Mangroves, wetlands / Mangles, humedales	1	35 337	0.8	
	Veg 4	Petenes	1	184 489	4.2	
	Veg 5	Wetlands and small petenes. / Humedales y petenes pequeños.	1	43 873	1.0	

Table 3. LU classes and their suitability for growing jalapeño pepper.
Cuadro 3. Clases de las UP y la aptitud para el cultivo del chile jalapeño.

Origin / Origen	Super class / Super clase	Clave class / Class code	Class name / Nombre de la clase	Crop suitability / Aptitud cultivo	Area ha / Superficie ha	%
Natural		Veg 6	Coastal wetlands and bodies of water. / Humedales costeros y cuerpos de agua.	1	3 394	0.1
		Pz 2	Natural grassland-Coastal dunes with low, creeping vegetation / Pastizal natural-Dunas costeras con presencia de vegetación baja-rastrera.	1	2 592	0.1
Anthropic / Antrópico	Natural vegetation / Vegetación natural	Veg 7	Mangrove. Aquatic vegetation, Shallow Waters with some petenes in patches./ Manglar. Vegetación acuática, aguas someras con algunos petenes en manchones.	1	245 555	5.6
		Veg 8	Deciduous or cleared natural grasslands. / Pastizales naturales caducifolios o desmontadas.	1	42 580	1.0
		B Wather / C Agua	Deciduous or cleared natural grasslands. / Cuerpo de agua superficial.	0	88	0.001
		LS1 / Pec1	Livestock farms. / Granjas pecuarias.	0	36 739	0.8
	Urban area / Zona urbana	UA1 / ZU1	Dense / Compacta.	0	21 689	0.1
		UA2 / ZU2	With green backyards./ Con traspatios verdes.	0	3 716	0.1
		UA3 / ZU3	Residential areas or hotel complexes, non-compact, with residential characteristics and large green areas./ Residenciales o complejos hoteleros, no compactas con características residenciales con grandes extensiones de áreas verdes.	0	22 680	0.5
Transition / Transición	Urban area / Zona urbana	NV-UA/ VN-ZU	Fragmented natural mangrove vegetation mixed with growing urban areas. / Vegetación natural de mangle fragmentada mezclada con zona urbana en crecimiento.	1	4 421	0.1
TOTAL					4 369 134	100

Transition = The units are in transition from natural to anthropic. Agr/LS = Agricultural - livestock.

Transición = Las unidades son de transición de natural a antrópico. Agr/pec = Agrícola - pecuario.

Source: Compiled by the authors.

Fuente: Elaboración propia.

had irrigation, either pressurized or gravity-fed, consistent with low-technification agriculture (Ayala et al., 2008). Incorporating crop residues is a common practice: 53 % of the agricultural sites contained organic matter from the previous cycle. Concerning environmental conditions, 69 % of the sites were located on plains and 31 % on hills. Additionally, 53 % of the sampled agricultural sites showed some type of physical soil erosion (Figure 3).

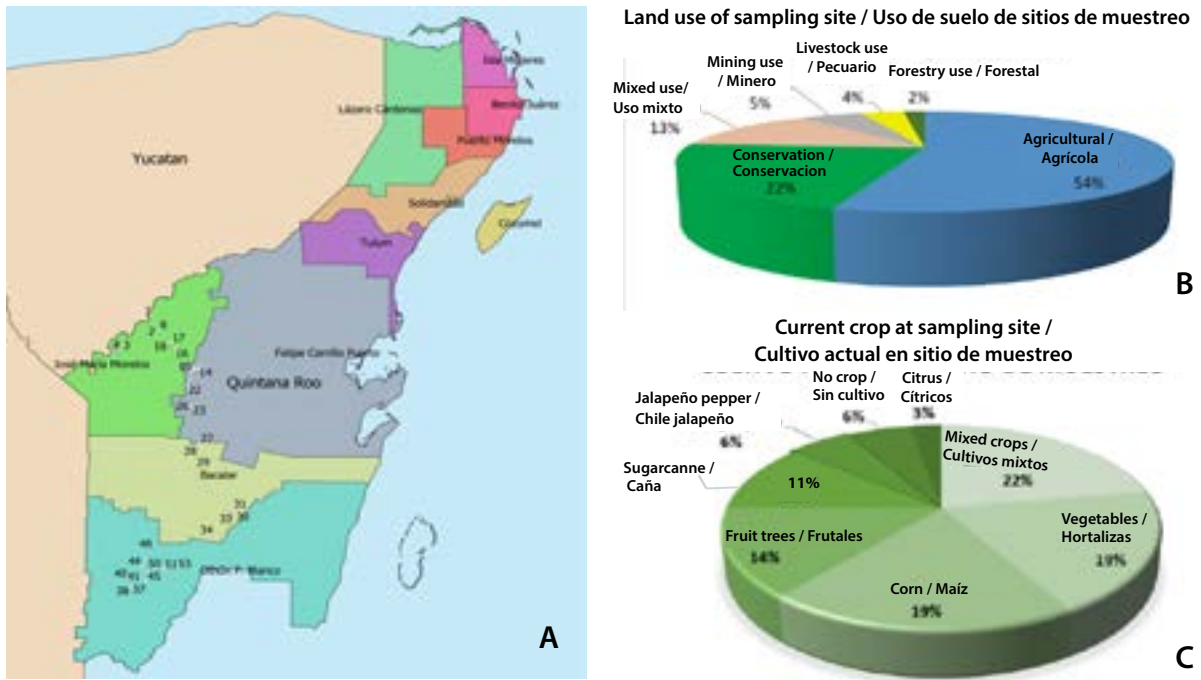
Regarding soil texture at the crop validation sites, clayed soils predominated (62 %), followed by sandy clay loam (23 %) and clayey sand (15 %). Soil pH ranged from 7.1 to 7.9, which only slightly limits jalapeño pepper root growth. The crop grows best in loamy soils with low salt content (Castellanos, 2000; García & Nava, 2010; Ruiz et al., 2013).

ciclo anterior. Respecto a las condiciones ambientales, 69 % de los sitios son planicies y 31 % lomeríos. El 53 % de los sitios agrícolas muestreados presentaban algún tipo de erosión física de suelo (Figura 3).

En términos de textura del suelo, en los sitios de verificación de cultivo; predominó el arcilloso (62 %), seguidos por 23 % franco arcilloso arenoso y el 15 % arcilloso arenoso. Mientras que el pH osciló entre 7.1 a 7.9 y se configura en una restricción débil para chile jalapeño desarrollo apropiado de las raíces, el cultivo prefiere texturas francas y con baja concentración de sales (Castellanos, 2000; García & Nava, 2010; Ruiz et al., 2013).

Del análisis de la información climática y de acuerdo con los requerimientos agroecológicos del cultivo de chile jalapeño, la región no tiene restricción climática. El 92.2 % de las UP agrícolas se ubican

Figure 2. Validation sites A) Location, B) Type of land use and C) Type of crop.
Figura 2. Sitios de verificación A) Ubicación, B) Tipo de uso del suelo y C) Tipo de cultivo.



Source: Compiled by the authors.
 Fuente: Elaboración propia.

Based on the analysis of climatic information and the agroecological requirements of jalapeño pepper, the region has no climatic restrictions. A total of 92.2 % of the agricultural landscape units are in the Aw1(x') climate, with annual precipitation ranging from 1 117 to 1 323 mm. Mean annual temperatures range from 25.9 to 26.7 °C, with average minimum temperature above 18 °C and average maximum temperature between 28.6 to 30.7 °C (CONAGUA, 2024; García & CONABIO, 1998).

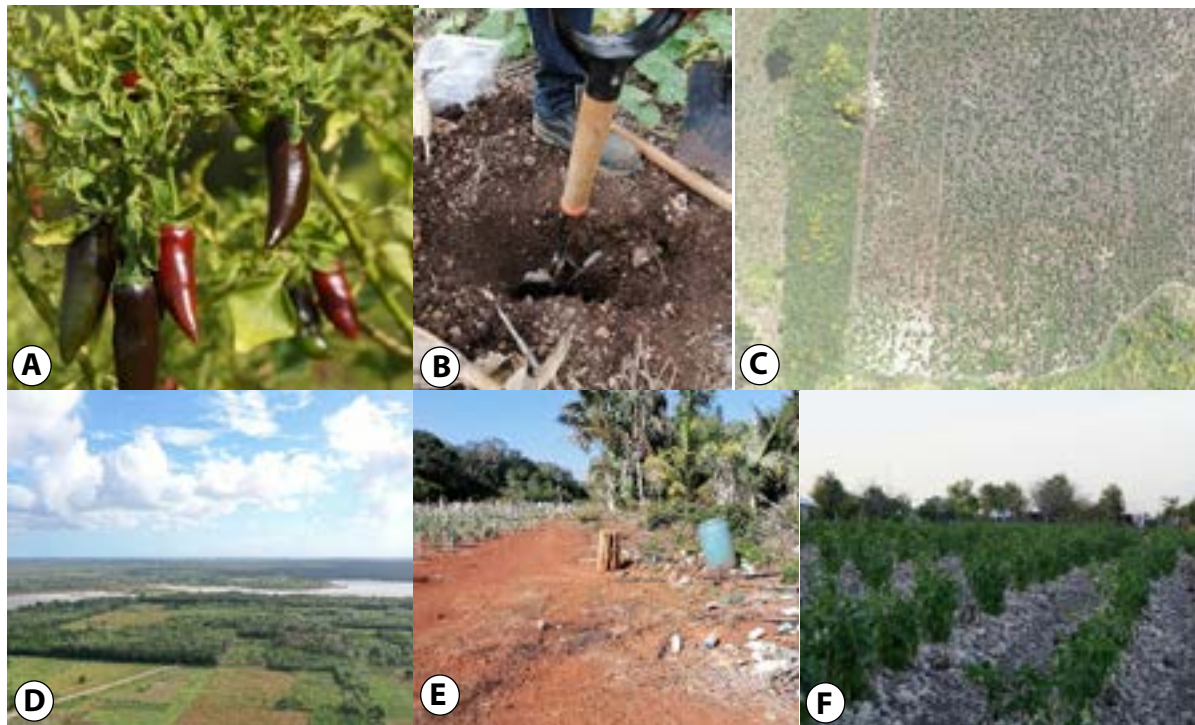
The MCE analysis estimated 876 038.2 ha in Quintana Roo with potential for growing jalapeño pepper, representing 19.0 % of the state's area or 44.8 % or the agricultural horizon (Table 5 and Figure 4). However, not all of these areas have irrigation infrastructure to take advantage of the favorable climatic period, as the irrigated surface covers only 43 479.96 ha (CONAGUA, 2023). Díaz-Padilla et al. (2012) reported that Quintana Roo had 73 972 ha with high productive potential and 248 ha unsuitable for *C. annuum* L. Differences in surface area between this study and previous estimates are attributed to the cartographic datasets used, specifically the SPOT satellite-based digitization of landscape units used here. Moreover,

en el clima Aw1(x') con acumulados anuales de precipitación de 1 117 a 1 323 mm. Temperaturas medias anuales entre 25.9 a 26.7 °C, mínimas promedio mayor a 18 °C y máximas promedio de 28.6 a 30.7 °C (CONAGUA, 2024; García & CONABIO, 1998).

El análisis EMC estimó una superficie con potencial para el cultivo de chile jalapeño para Quintana Roo de 876 038.2 ha; que representan el 19.0 % del territorio estatal o el 44.8 % del horizonte agrícola (Cuadro 5 y Figura 4). Desafortunadamente para aprovechar la ventana climática, no toda el área cuenta con infraestructura de riego, puesto que la superficie irrigada es de 43 479.96 ha (CONAGUA, 2023). Por su parte, Díaz-Padilla et al. (2012), concluyeron que Quintana Roo tenía 73 972 ha con potencial productivo alto y 248 ha no aptas para *C. annuum* L. La diferencia en superficie con los resultados de este trabajo se debe a la base cartográfica utilizada contra la digitalización de UP de imágenes satelitales SPOT. Además de la inclusión de la sensibilidad como variable ponderada dentro de la evaluación multicriterio para las UP.

En este trabajo se generaron 15 cartas nombradas como la localidad más importante. En la Figura 4,

Figura 3. Sitios de muestreo en parcelas históricas o actuales de chile jalapeño
Figure 3. Sampling sites in historical or current jalapeño pepper plots.



A) Jalapeño pepper in maturation, **B)** Squash crop in El verdón José María Morelos, on eutric nitosol soil ; **C)** RGB photograph captured by UAV of jalapeño pepper in Nicolas Bravo, O. P. Blanco, on rendzina soil, **D)** Agricultural landscape unit suitable for pepper crop in San Isidro La Laguna, Bacalar, on pellic vertisol soil; **E)** Historical jalapeño pepper plot in Pool-Yuk, JMM, with improper agrochemical container management, on rendzina soil and **F)** Jalapeño pepper under unsuitable conditions in San Román Bacalar.

A) Chile jalapeño en maduración, **B)** Cultivo de calabaza en El verdón JMM, suelo Nitosol Eutríco; **C)** Fotografía en RGB con VANT en chile jalapeño en Nicolas Bravo, O. P. Blanco, suelo Rendzina, **D)** UP agrícola apta para el cultivo de chile en San Isidro La Laguna, Bacalar, suelo Vertisol Pélico **E)** Parcela histórica de chile jalapeño en Pool-Yuk, JMM, con manejo inadecuado de envases de agroquímicos, suelo Rendzina y **F)** Chile jalapeño en condiciones no aptas, San Román Bacalar.

Photographs by Lomas-Barrié, January and February 2020.
 Autor de las fotografías: Lomas-Barrié, enero y febrero 2020.

this study incorporated sensitivity as a weighted variable in the multicriteria evaluation of the LU.

In this study, 15 maps were generated, each named after the most relevant locality. Figure 4 shows the “Nicolas Bravo” map, located in the southern region and historically important for jalapeño pepper production. All cartographic products are archived at INIFAP.

Conclusions

The MCE analysis identified that 19.0 % of the territory of Quintana Roo, equivalent to 876 038.2 ha, is suitable for growing jalapeño pepper. The validity of the method is supported by cartography based on Landscape Units and validated in the field with UAV imagery.

The areas with the greatest potential for implementing public policies to promote jalapeño pepper

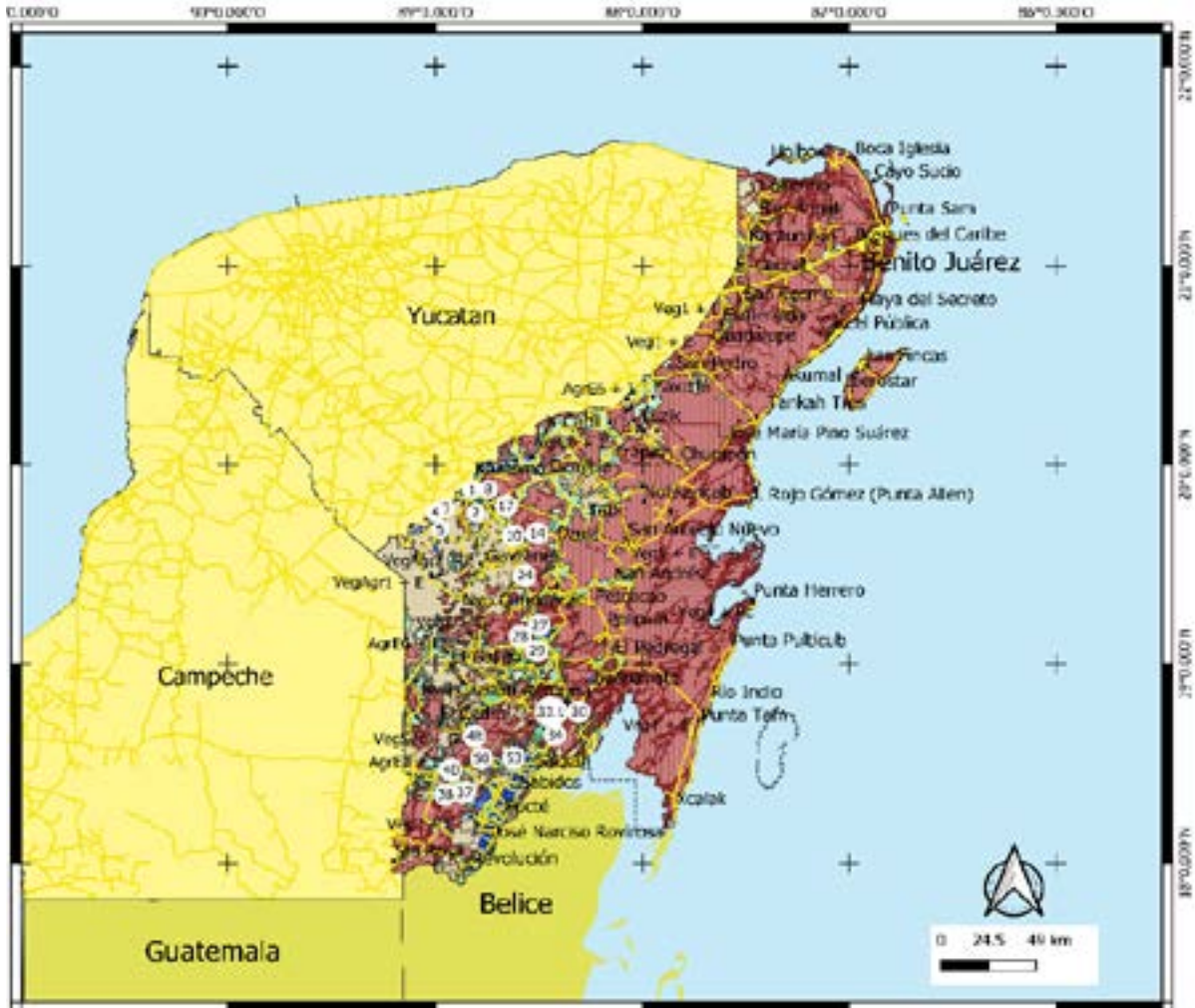
se muestra la carta “Nicolas Bravo” ubicada al sur y con importancia histórica en el cultivo del chile jalapeño. La cartografía se encuentra resguardada en el INIFAP.

Conclusiones

La EMC permitió detectar que el 19.0 % del territorio del Estado de Quintana Roo es apto para el cultivo del chile jalapeño y representa 876 038.2 ha. La robustez del método se sustenta en la cartografía generada con uso de Unidades de Paisaje, y la validación en campo con imágenes obtenidas de vuelos con VANT.

Las áreas con mayor potencial para establecer una política pública de impulso a la producción de chile jalapeño son las clases Agr 1 y Agr 2, que se caracterizan por ser compactas y representan el 3.5 % del territorio, donde el reforzamiento de la infraes-

Figure 4 A. Mapping of potential areas for growing jalapeño pepper in the state of Quintana Roo.
Figura 4 A. Cartografía de las zonas potenciales para el cultivo de chile jalapeño en el estado de Quintana Roo.



A

Land suitability zoning for growing jalapeño pepper in Quintana Roo
Zonificación de la aptitud para cultivo de chile jalapeño en Quintana Roo.

Symbology - Simbología
Simbología base- Base symbology

--- Limites municipales- Municipal boundaries

Carreteras- Highways

- Rural localities / Localidades rurales
- Urban localities / Localidades urbanas
- Risk_units / Unidades_riesgo

Landscape units+ type of soil / U. paisaje+ tipo suelo

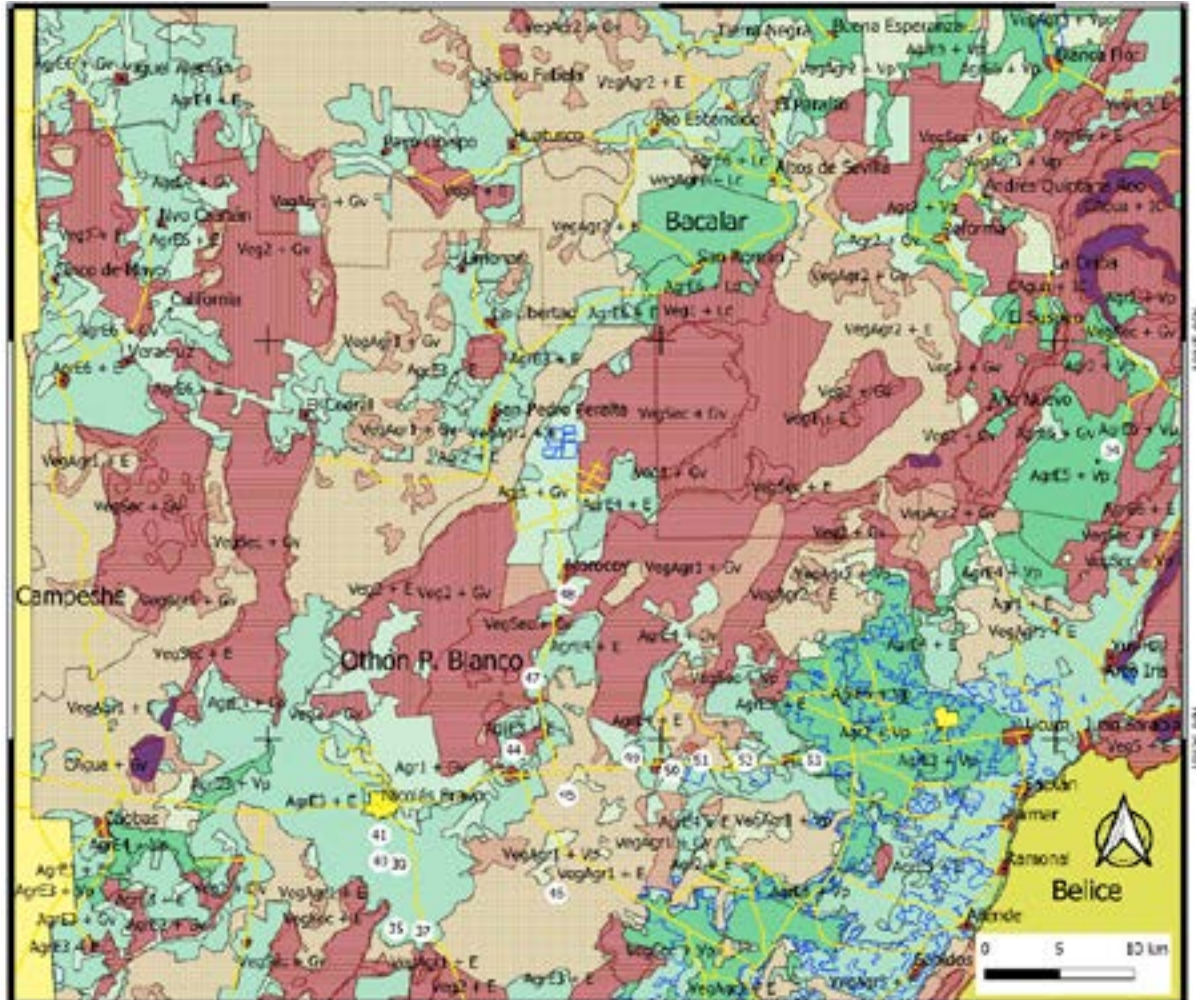
- Agricultural / Agrícola
- Vegetation agriculture / Vegetación agricultura
- Vegetation natural / Vegetación natural
- Grassland natural / Pastizal natural
- Natural vegetation-wet / Vegetación natural-humeda

- Urban area / Zona urbana
- Body of water / Cuerpo de agua

Suitability of LU for jalapeño pepper /
Aptitud UP chile jalapeño -No apto- Not suitable

- Unfit / No apto
- Semi suitable / Semiapto
- Suitable / Apto

Figure 4 B. Mapping of potential areas for growing jalapeño pepper in the state of Quintana Roo.
Figura 4 B. Cartografía de las zonas potenciales para el cultivo de chile jalapeño en el estado de Quintana Roo.



B Land suitability zoning for growing jalapeño pepper in Quintana Roo
 Zonificación de la aptitud para cultivo de chile jalapeño en Quintana Roo.
Nicolas Bravo

Symbology - Simbología
Simbología base- Base symbology

- | | |
|---|---|
| Limites municipales- Municipal boundaries | Urban area / Zona urbana |
| Carreteras- Highways | Body of water / Cuerpo de agua |
| Rural localities / Localidades rurales | |
| • Urban localities / Localidades urbanas | |
| Risk_units / Unidades_riesgo | |
| Landschap units+ type of soil / U. paisaje+ tipo suelo | Suitability of LU for jalapeño pepper / Aptitud UP chile jalapeño -No apto- Not suitable |
| Agricultural / Agrícola | Unfit / No apto |
| Vegetation agriculture / Vegetación agricultura | Semi suitable / Semiapto |
| Vegetation natural / Vegetación natural | Suitable / Apto |
| Grassland natural / Pastizal natural | |
| Natural vegetaion-wet / Vegetación natural-humeda | |

Fuente: Elaboración propia. Incluye información de las cartas de edafología (INIFAP & CONABIO, 2001), vías de comunicación (INEGI, 2019) localidades y Agebs (INEGI, 2010). A) Entidad completa y B) Carta Nicolas Bravo en el sur de la entidad. Las claves para identificar la clase de UP+Tipo suelo se encuentran en Cuadro 3.

production are the Agr 1 and Agr 2 classes, which are dense and account for 3.5 % of the territory. In these areas, strengthening infrastructure and building a critical mass of producers would be most efficient.

Microrelief conditions in the region create soil characteristics that are not detectable at a 1:20000 scale. These local features could influence irrigation layout, fertilization, and other field-level management decisions.

Acknowledgments

The author thanks D.h. Perla Ávila Pat and Biol. Abraham Ake Be, Ing. Jorge Velázquez Toledo (CESAVEQROO), and CONACYT-Gobierno del Estado de Quintana Roo for the funding for the Project QROO-2018-02-01-97481 "*Estrategia integral e innovación tecnológica para impulsar la productividad de la cadena de valor del chile jalapeño en Quintana Roo*".

End of English version

References / Referencias

- Ayala, A., Schwentesius, R., Gómez, M., & Almaguer, G. (2008). Competitividad del frijol mexicano frente al de Estados Unidos en un contexto de liberalización comercial. *Región y sociedad* 20(42): 37-62.
- Bakkear, J. C. & Van-Uffelen, J. A. M. (1988). The effects of diurnal temperature regimes on growth and yield of glasshouse sweet pepper. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 36:201-208 <https://library.wur.nl/ojs/index.php/njas/article/view/16670/16084>
- Barredo, J. I. C. (1996). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. RA-MA, Madrid. 265 p.
- Castellanos, R. J. Z. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. Guanajuato, México 186 p.
- Castro-Rocha, A., Fernández, P. S. P., & Osuna, A. P. (2012). Mecanismos de defensa del chile en el patosistema *Capsicum annum-Phytophthora capsici*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 30:49-65.
- CESAVEQROO. (2019). Base de datos de productores de hortalizas en el estado de Quintana Roo, del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Quintana Roo.
- CONAGUA. (2023). Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). <https://sina.conagua.gob.mx/sina/>
- CONAGUA. (2024). Base de datos de las estaciones convencionales. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica/>
- Dang, M. (2024). Assessment of crop-land suitability by the multi-criteria evaluation approach and geographic information system: A scoping review. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 26(2). <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/9049>
- Del Risco, Y.Y. (2002). Diagnóstico ambiental y aproximado al ordenamiento geoecológico de "Escaleras de Jaruco" Tesis en opción al título de máster en Geografía, Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial. Universidad de la Habana, Facultad de Geografía. La Habana Cuba.
- Díaz-Padilla, G., Guajardo-Panes, R., Medina-García, G., Sánchez-Cohen, I., Soria-Ruiz, I., Vázquez-Alvarado, J. M., Quijano-Carranza, J. A., Legorreta-Padilla, F., & Ruiz-Corral, J. A. (2012). Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México. INIFAP Publicación Especial 8.
- Díaz-Plaza, R., Avilés-Baeza, W., Torres-Pacheco, I., & Rivera-Bustamante, R. (1996). Geminivirus en la región Hortícola de Yucatán, México. In: *Memorias del Taller de moscas blancas*. Aca-pulco, México. P. 193.

estructura y la formación de masa crítica sería más eficiente.

Las condiciones de micro relieve en la región generan características particulares de suelo que a escala 1:20000 no es detectable. Estas particularidades podrían modificar el acomodo del riego, la fertilización y otras decisiones en el manejo parcelario.

Agradecimientos

A la D.h. Perla Ávila Pat y al Biol. Abraham Ake Be. Al Ing. Jorge Velázquez Toledo del CESAVEQROO. Al Fondo mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Quintana Roo por el financiamiento del proyecto QROO-2018-02-01-97481 "*Estrategia integral e innovación tecnológica para impulsar la productividad de la cadena de valor del chile jalapeño en Quintana Roo*".

Fin de la versión en español

- Echavarría-Chávez, F., & Medina-García, G. (2015). Uso potencial del suelo y potencial productivo de cultivos como herramientas para direccionar la reconversión productiva. En: Echavarría-Cáñez, F. (comp). Reconversión productiva para el ordenamiento agropecuario. CEDRSSA y LXII Legislatura de la Cámara de Diputados. 31-45p. https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Chairez/publication/323783593_Reconversion_productiva_para_el_ordenamiento_agropecuario/links/5aaab254aca272d39cd7a20c/Reconversion-productiva-para-el-ordenamiento-agropecuario.pdf
- ERMEX. (2020). Monitoreo satelital. Pubhtml <http://online.pubhtml5.com/clsi/mhph/#p=1>. De la página oficial <https://www.gob.mx/siap/articulos/antena-ermex>. Consultada (22 de septiembre de 2020).
- García, E., & CONABIO. (1998). Climas, escala 1:1000000. CONABIO. México
- García, J. A., & Nava, R. (2010). El chile jalapeño: su cultivo de temporal en Quintana Roo. Folleto técnico No. 2 CIRSE-INIFAP. México. 64 p.
- García-Nieto, H., López-Blanco, J., Moreno-Sánchez, R., Villers-Ruiz, M., & García-Daguer, R. (1999). Potencial agrícola del Distrito de Desarrollo Rural 004, Celaya, Guanajuato, México. Una aplicación del enfoque de límites de transición gradual (fuzzy) utilizando SIG. Investigaciones Geográficas N. 38 69-83. <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n38/n38a7.pdf>
- Gaspar-Moctezuma, T. F. (2019). Etnobotánica y caracterización morfológica del chile jalapeño criollo (*Capsicum annum* var. *annuum* L.) en la región centro de Veracruz. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. México. https://www.uv.mx/met/files/2019/10/Thania_Francely_Gaspar_Moctezuma.pdf
- Gurri-García, F. D., & Vallejo-Nieto, M. I. (2007). Vulnerabilidad en campesinos tradicionales y convencionales de Calakmul, Campeche, México. Secuelas del huracán "Isidore". En: Civera-Cerecedo, M. y Herrera-Bautista, M. R. (2007) Estudios de Antropología Biológica, volumen XIII: 449-47. Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. 451-470p.
- INEGI. (2010). Áreas Geoestadísticas Municipales, 2010. Escala: 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags., México. http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/muni_2010gw.xml?_httplibcache=yes&_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc_html.xml&_indent=no. Acceso 23 de octubre de 2020
- INEGI. (2017). Uso del suelo y vegetación, escala 1:250 000, serie VI (continuo nacional) CONABIO. México
- INEGI. (2019). Carta Topográfica Digital escala 1:250 000. www.inegi.org.mx
- INEGI. (2020). Carta Hipsométrica Digital escala 1:1 000 000. www.inegi.org.mx
- INIFAP & CONABIO. (2001). Cartografía Edafología escalas 1:250000 y 1:1000000. México. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/topog/infgrt/indi50kgw
- Keys, E., & Roy-Chowdhury, R. R. (2006). Cash crops, smallholder decision-making and institutional interactions in a closing frontier: Calakmul, Campeche, Mexico. *Journal of Latin American Geography*, 5 (2), 2006
- Loeza-Kuk, E., Gerónimo-Romero, A., Lomas-Barrié, C., Cicero-Jurado, L., Rangel-Fajardo, M. A., & López-Chacón, A. (2014). Comportamiento temporal de biotipos de mosca blanca y adquisición de begomovirus en *Capsicum chinense*. In: Memorias: 1er. Congreso Internacional de Investigación Agropecuaria y Forestal. UAA. México. <https://es.scribd.com/document/353534837/Libro-Del-Congreso-Internacional-de-Investigacion-Agropecuaria-y-Forestal> o <https://www.uaa.mx/eventos/agosto/congreso.pdf>
- Malczewski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis. New York: Wiley.
- Medina-García, G., Ruiz-Corral, A., Martínez-Parra, R. A., & Ortiz-Valdez, M. (1997). Metodología para la determinación del potencial productivo de especies vegetales. *Agric. Téc. Méx.* 23(1):69-90
- Medina-García, G., Ruiz-Corral, J. A., Rodríguez-Moreno, V. M., Soria-Ruiz, J., Díaz-Padilla, G., & Zarazúa-Villaseñor, P. (2016). Efecto del cambio climático en el potencial productivo del frijol en México. *Rev. Mex. Cienc. Agric. Pub Esp.* 13: 2465-2474
- Mendoza, M. E., & Bocco, G. (1998). La regionalización geomorfológica como base geográfica para el ordenamiento del territorio: una revisión bibliográfica. En: Serie Varia. Instituto de Geografía, UNAM. México. Núm. 17: 25-55
- Mujiyo, H., Chimonyo, V. G. P., Sibanda, M., Kunz, R., Masemola, C. R., Modi, A. T., & Mabhaudhi, T. (2021). Evaluation of Land Suitability Methods with Reference to Neglected and Underutilised Crop Species: A Scoping Review. *Land*, 10(2), 125. DOI: 10.3390/land10020125
- Ortega, M. (2020). La inserción de la agricultura mexicana al mercado mundial (1990-2018), efectos económicos y espaciales: el caso del frijol. En: Leal, P. (2020). Diferentes miradas de la inserción de México a la economía mundial. UNAM. 328p.
- Ortiz-Solorio, C. A., & Cuanalo de la Cerda, H. E. (1978). Metodología del levantamiento fisiográfico: un sistema de clasificación de tierras. Posgrado de Edafología. Colegio de Postgraduados. 85 pp.
- Periódico oficial. (2022). Estrategia estatal de ordenamiento territorial de Quintana Roo. Tomo 1 Núm 35 extraordinario. 83p.

- Página oficial: <https://qroo.gob.mx/sedetus/bitacoraterritorial/estrategia-estatal-de-ordenamiento-territorial-qroo-eeot>. Consultado (10 de julio de 2024).
- Plantinga, A. J. (2015). Integrating Economic Land-Use and Biophysical Models. *Annual Review of Resource Economics*, 7, 233-249. DOI: 10.1146/annurev-resource-100814-125056
- Robles-Hernández, L., González-Franco, A. C., Gill-Langarica, E., Pérez Moreno, L., & López-Díaz, J. C. (2010). Virus fitopatógenos que afectan al cultivo de chile en México y análisis de las técnicas de detección. *Tecnociencia Chihuahua* 4(2): 72-86. <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/715/815>.
- Ruiz, C. J. A., Medina, G. G., González, I. J. A., Flores, H. E. L., Ramírez, O. G., Ortiz, T. C., Byerly, M. K. F., & Martínez, P. R. A. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p
- Salinas, E. C. (1997). Planificación ambiental y ordenamiento geológico. En: *Memorias del II Taller sobre Ordenamiento Geológico de los paisajes, la Habana, Cuba*. Facultad de Geografía de la Universidad de La Habana.
- Schnaid-Cámara, A. (2017). Tepich y la economía de Quintana Roo 2015. *Revista electrónica semestral Universidad de Quintana Roo*. 3: 9-49. <https://www.uqroo.mx/files/revista-vita-et-tempus/revista-vita-et-tempus-numero-3b.pdf>
- SEMARNAT-CONANP. (2020). Áreas Naturales Protegidas Federales de México, agosto 2020, edición: 2020. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Ciudad de México, México. http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/anp2020gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html_xsl&_indent=no
- Shishenko, P. (1988). *Geoecología de los paisajes (en ruso: ландшафтная геоэкология)*. Ed escuela superior de Kiev, Ucrania. (pág 32-54).
- SIAP (2024). SIACON, Sistema de Información Agroalimentaria de consulta de Avance de siembras y cosechas por municipio. https://nube.agricultura.gob.mx/avance_agricola/
- Sotelo-Ruiz, E. D., Cruz-Bello, G. M., González-Hernández, A., & Moreno Sánchez, F. (2016). Determinación de la aptitud del terreno para maíz mediante análisis espacial multicriterio en el Estado de México. *Rev. Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(2):401-412 <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263145278015.pdf>
- Turner, B. L. II, & Robbins, P. (2008). Land-Change Science and Political Ecology: Similarities, Differences, and Implications for Sustainability Science. *Annual Review of Environment and Resources*, 33, 295-316. DOI: 10.1146/annurev.environ.33.022207.104943
- Tuz, L. E. (19 de julio de 2015). Desaparece el cultivo de picante. *Diario por esto Quintana Roo*. <https://diarioporestoqroo.wordpress.com/2015/07/09/desaparece-el-cultivo-de-picante/>
- Vasu, D., Srivastava, R., Patil, N. G., Tiwary, P., Chandran, P., & Singh, S. K. (2018). A comparative assessment of land suitability evaluation methods for agricultural land use planning at village level. *Land Use Policy*, 79, 146-163. DOI: 10.1016/j.landusepol.2018.08.007

Validación de un plan de Manejo Agronómico Integral Sostenible (MAIS) para mejorar la productividad del naranjo en regiones afectadas por Huanglongbing (HLB)

Karla Mariany Hernández-Muñoz¹

Gustavo Almaguer Vargas^{2*}

Humberto Arenas Reyes¹

¹Asociación Nacional de Procesadores de Cítricos A. C. Insurgentes Sur 863, piso 7, Col. Nápoles, Benito Juárez, Ciudad de México. C. P. 03810, México.

²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, Carretera México-Texcoco km 38.5, C. P. 56230, Chapingo, Texcoco Edo. de México. México.

*Autor para correspondencia: galmaguerv@chapingo.mx

Resumen

El cultivo del naranjo (*Citrus X sinensis* (L.) Osbeck) es una actividad clave en la economía de regiones cítricas mexicanas; sin embargo, su permanencia se ve amenazada por la expansión del Huanglongbing (HLB), enfermedad incurable asociada a la reducción de la productividad y longevidad de los huertos. Esta investigación tuvo como objetivo sistematizar, aplicar y validar un Plan de Manejo Agronómico Integral Sostenible (MAIS) para mitigar los efectos del HLB y fortalecer la resiliencia del sistema productivo. Se aplicó en ocho parcelas demostrativas ubicadas

en los municipios de Álamo Temapache, Veracruz, y Ciudad Fernández, San Luis Potosí. Se partió de un diagnóstico técnico-productivo en cada parcela, se desarrollaron paquetes tecnológicos para cada una de ellas, que incluyeron fertilización foliar y edáfica con base en análisis de suelo, podas sanitarias, manejo integrado de plagas y enfermedades y el establecimiento de coberturas vegetales con función agroecológica. Los resultados mostraron que al menos, se duplicó el rendimiento promedio y se mejoró la sanidad, la brotación, incluso en huertos con afectaciones severas. Se concluye que un plan de manejo integral permite convivir con el HLB y tener niveles productivos altos.

Palabras clave: *Citrus X sinensis* (L.) *Diaphorina citri*, dragón amarillo, nutrición vegetal, parcelas demostrativas, transferencia tecnológica.

Validation of a Sustainable Integrated Agronomic Management (MAIS) plan to improve orange tree productivity in regions affected by Huanglongbing (HLB)

Abstract

Keywords: (*Citrus X sinensis* (L.) Osbeck), *Diaphorina citri*, plant nutrition, technology transfer.

Fecha de recibido: Agosto 20, 2025

Fecha de aceptado: Octubre 31, 2025

Introducción

México se ubica entre los principales productores de naranja a nivel mundial. Según el reporte mensual de escenarios de productos agroalimentarios del SIAP (2024), la superficie sembrada alcanzó las 353 327 hectáreas, con un crecimiento del 0.5 % respecto al año anterior. Veracruz es el principal estado productor con 48.6 % de la superficie nacional, seguido por Puebla, Tamaulipas y San Luis Potosí, que en conjunto concentran el 77.5 % de la superficie cultivada.

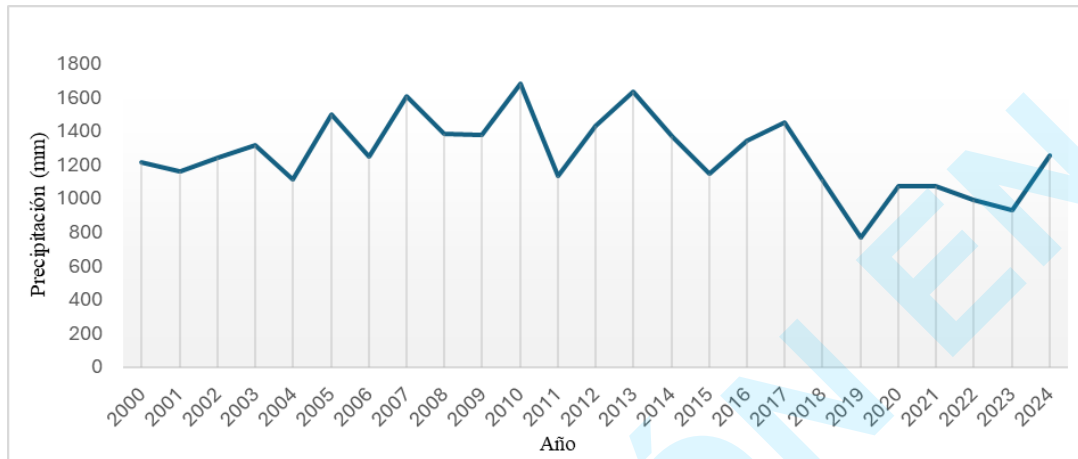
A pesar del incremento en superficie sembrada, la superficie cosechada en 2024 fue de 268 819 ha, lo que representó una disminución del 1.6 % respecto al año anterior. La producción nacional también cayó un 6.6 %, registrando 3 357 117 toneladas, con una baja en el rendimiento de 13.16 a 12.49 t·ha⁻¹. Esta reducción se asocia principalmente a problemas fitosanitarios y condiciones climáticas adversas. 2000 encuestas aplicadas en Álamo Temapache, Veracruz, Cd. Fernández, SLP y Papantla, demuestran que el rendimiento ha disminuido en más del 60 %, lo cual ha sido ratificado por Gómez (2023).

Uno de los principales retos para la producción de naranja en México y a nivel global es el Huanglongbing (HLB), también conocido como enfermedad del dragón amarillo. Esta enfermedad, causada por la bacteria *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLAs) y transmitida por el psílido asiático (*Diaphorina citri*), afecta la calidad del fruto, reduce la longevidad del árbol y el rendimiento, así como genera pérdidas económicas importantes. Bove (2006) menciona que es la enfermedad más destructiva que pueden tener los cítricos.

El HLB fue detectado en México por primera vez en 2009 en Tizimín, Yucatán (Robles et al., 2017), y desde entonces, su presencia ha aumentado progresivamente (Flóres Sánchez et al., 2025).

Aunado a esto, las condiciones climáticas recientes han contribuido a acentuar los efectos del HLB. Desde 2018 se ha observado una clara disminución en la precipitación anual en zonas clave para la citricultura, como es el caso de Álamo Temapache, Veracruz, una de las regiones con mayor superficie dedicada al cultivo de naranja, donde se registró una caída constante en los niveles de lluvia, con puntos críticos en 2019 y 2023, cuando la precipitación estuvo por debajo de los 1 000 mm anuales, presentando apenas una ligera recuperación en 2024 (**Figura 1**).

Figura 1. Precipitación anual de Álamo Temapache



Fuente: Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) NASA. Data Access Viwer.

Ante la amenaza que representa el HLB, diversos investigadores han explorado estrategias para su manejo y control, abordando tanto la comprensión de la enfermedad como el desarrollo de alternativas para mitigar su impacto en la citricultura. Por ejemplo, se han analizado las alteraciones en hojas de cítricos infectadas por *Candidatus Liberibacter asiaticus* desde un enfoque fisiológico y anatómico, proporcionando información clave sobre la progresión de la enfermedad y su efecto en la funcionalidad del árbol. Dichos estudios han evidenciado cambios estructurales en los tejidos vasculares, afectando el transporte de nutrientes y, en consecuencia, debilitando la planta (Esquivel et al., 2012).

Por otro lado, investigaciones recientes han evaluado el papel de la nutrición balanceada en la resistencia de los cítricos frente al HLB. Pérez et al. (2024) concluye que los árboles con una adecuada fertilización y estimulación de sus mecanismos de defensa presentan una mayor tolerancia a la enfermedad (Wang et al., 2022), hallazgo que se atribuye a la expresión diferencial de genes involucrados en la respuesta inmune de la planta, la influencia de factores agroclimáticos y la interacción entre el patrón y la edad del árbol. En esta misma línea, se ha demostrado que un enfoque agronómico integrado, que combina la aplicación de elicitors de defensa, fertilización nitrogenada y el uso de enmiendas orgánicas como el compost, es capaz de ralentizar significativamente el progreso del HLB.

Esta sinergia de prácticas no solo logra mantener la salud del árbol y el rendimiento productivo en plantas ya enfermas, sino que también protege a las nuevas plantaciones de la infección, posicionándose como una estrategia práctica y optimizable para los citricultores (Li et al., 2019).

Al profundizar en la sinergia de prácticas agronómicas, se ha investigado la combinación de podas con programas de nutrición foliar como método para rejuvenecer árboles afectados por HLB. En este contexto, se evaluaron los efectos de una poda severa junto con la aplicación de tratamientos nutricionales mejorados, los cuales incluían una mezcla de micro y macronutrientes y un paquete de micronutrientes complementado con nitrato de potasio o urea. Los resultados del estudio indicaron que, si bien la poda severa no demostró ser rentable a mediano plazo, la vigorosa respuesta de rebrote del árbol sugiere que podas más moderadas podrían ser una alternativa eficaz para su recuperación. De manera paralela, los programas de nutrición foliar demostraron generar beneficios medibles en el rendimiento (Rouse et al., 2017).

Durante mucho tiempo, diversos estudios han señalado que el manejo de la enfermedad debe basarse en tres enfoques principales: la erradicación de plantas infectadas, el control del vector (*Diaphorina citri*) y el uso de material certificado. Sin embargo, Mora et al. (2014) destacan que la erradicación de árboles enfermos ha sido poco efectiva debido a la diseminación sistémica de la bacteria, incluso en las raíces, lo que dificulta su eliminación total. Respecto al control del vector, Pineda et al. (2024) enfatizan que este no debe abordarse de manera aislada, sino dentro de un esquema de manejo integrado que considere la fenología del cultivo y la interacción planta-patógeno y considerar que la mayoría de los naranjos ya están infectados por el CLAs.

La mejora de la productividad del cultivo de naranja en árboles afectados por el Huanglongbing (HLB) exige un replanteamiento profundo de las prácticas de cultivo utilizadas y en general, de todo el sistema de producción. Los esquemas tradicionales no han demostrado una adecuada efectividad, superados tanto en lo operativo como en lo científico-tecnológico, sobre todo, porque no consideran las nuevas condiciones climáticas y el incremento en agresividad de plagas y enfermedades (Trigo & Elverdin, 2019).

Particularmente en el caso del HLB, donde la complejidad de la problemática requiere una respuesta integral, dinámica y territorialmente adaptada, los planes de manejo agronómico integrales de parcelas demostrativas, se posicionan como herramientas clave para la validación y transferencia de innovaciones agronómicas. En México, estas parcelas han demostrado ser espacios

eficaces para probar, ajustar y difundir nuevas prácticas de manejo, al mismo tiempo que actúan como puentes entre los sectores científico, productivo y financiero (Rendón et al., 2016).

Bajo esta perspectiva, la presente investigación tiene como objetivo generar e implementar estrategias de manejo agronómico integral para mejorar la productividad del cultivo de naranja en regiones afectadas por el HLB en México. Estas estrategias buscan no solo incrementar el rendimiento y la calidad de la producción, sino también fortalecer la sostenibilidad y la resiliencia del sistema citrícola, promoviendo prácticas adaptadas a los retos fitosanitarios y ambientales que enfrenta actualmente el sector.

Enfoque Metodológico y Materiales

Enfoque metodológico general

Este estudio se desarrolló mediante la implementación y validación del Plan de Manejo Agronómico Integral Sostenible (MAIS) en ocho parcelas demostrativas ubicadas en Veracruz y San Luis Potosí. El enfoque se eligió porque permite evaluar innovaciones agronómicas en condiciones reales de campo, favorece la interacción directa con productores y facilita procesos de aprendizaje práctico en huertos afectados por Huanglongbing (HLB).

El diseño del MAIS parte del reconocimiento de que el HLB altera profundamente la fisiología del árbol, principalmente al obstruir el floema y limitar el transporte de nutrientes. Para enfrentar este deterioro progresivo, el plan integra prácticas de nutrición, manejo del suelo, control del vector, podas sanitarias y estrategias biológicas que buscan reactivar el metabolismo del árbol. Estas prácticas se fundamentaron en investigaciones recientes (Torres et al., 2025; Millán et al., 2025), traducidas en innovaciones adaptadas al contexto de los productores.

Componentes del Plan de Manejo Agronómico Integral Sostenible (MAIS)

El MAIS se construyó a partir de un diagnóstico inicial que incluyó análisis de suelo, la historia productiva del huerto y una encuesta aplicada al productor. A partir de esta base, se integraron los siguientes elementos:

- **Encuesta diagnóstica inicial**

Permitió conocer el estado general de la parcela, prácticas previas de manejo y expectativas del productor, facilitando el ajuste de las recomendaciones.

- **Análisis de suelo**

Se utilizó como herramienta central para definir la estrategia de fertilización y corregir deficiencias nutrimentales acentuadas por el HLB.

- **Fertilización radical y foliar**

a) *Fertilización radical*: Se aplicó a lo largo del año (marzo, junio, agosto, octubre y diciembre), con el objetivo de compensar la baja eficiencia de absorción causada por el daño radical propio del HLB. Se incluyeron fuentes solubles de N, K, Ca y Mg, además de materia orgánica y biofertilizantes que favorecen la recuperación de la microbiota del suelo.

b) *Fertilización foliar con y sin bioestimulantes*: Se orientó a mejorar la fotosíntesis, reducir estrés oxidativo y favorecer brotación, amarre de fruto y equilibrio fisiológico. Se emplearon aminoácidos, hormonas, vitaminas, extractos de algas y micronutrientes como Zn y Mn, esenciales para el metabolismo en árboles afectados.

- **Manejo del suelo, malezas y coberturas**: Las coberturas y el manejo selectivo de arvenses mejoran la estructura del suelo, regulan temperatura, aumentan retención de humedad y contribuyen a la presencia de organismos benéficos.

- **Manejo integrado del vector (*Diaphorina citri*) incluyó:**

- Monitoreo sistemático,
- Control biológico mediante *Tamarixia radiata*,
- Insecticidas de bajo impacto a base de hongos entomopatógenos,
- Trampas pegajosas,
- Rotación de ingredientes activos.

Las aplicaciones se concentraron en los meses críticos: febrero, junio, agosto, septiembre y diciembre.

- **Podas estratégicas:** Se realizaron en febrero y julio, con el propósito de:
 - Eliminar ramas secas o infectadas,
 - Inducir brotes vigorosos,
 - Mejorar ventilación e iluminación,
 - Facilitar penetración de productos fitosanitarios.

Las podas se acompañaron de selladores cúpricos y de la eliminación o quema del material cortado para evitar nuevas infecciones.

Parcelas demostrativas y sus características

Las parcelas seleccionadas representaron diversos contextos edafoclimáticos propios del sector citrícola. La diversidad de suelos, edades de plantación y prácticas históricas permitió validar el MAIS en condiciones reales y contrastantes (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Características generales de las parcelas demostrativas

Localidad		Superficie (ha)	Descripción
Instituto Superior de Temapache Veracruz	Tecnológico de Álamo (ITSAT),	1.9	Suelos Vertisol y Calcisol, clima cálido subhúmedo y 638 árboles de 7 años sobre patrón cucho
Hidalgo Amajac, Temapache, Veracruz	Álamo	2	Suelo Cambisol y clima cálido subhúmedo.
Úrsulo Galván Limonar), Temapache, Ver	“uno” (El	4.5	Suelo Fluvisol, riego por goteo y manejo no técnico; funciona como parcela testigo
El Cedral, Papantla, Veracruz		6.5	Suelos Vertisol y cultivos asociados (soya forrajera, canavalia) como coberturas; sin riego

El Refugio, Ciudad	5.05	Suelos Phaeozem, árboles de ~50 años, riego por microaspersión y rendimiento histórico de 4 t/ha.
Fernández, San Luis Potosí (Tres parcelas demostrativas)		
La Reformita, Ciudad	9	Suelos Phaeozem, árboles de ~30 años, clima cálido seco y riego por microaspersión.
Fernández, San Lis Potosí		

Criterios de selección de las parcelas

Las parcelas se eligieron atendiendo a criterios técnicos y estratégicos; con el objetivo de garantizar que las prácticas implementadas pudieran ser evaluadas en condiciones representativas del sector citrícola local. La elección de las parcelas respondió a factores clave que facilitaron la difusión del conocimiento y la validación de estrategias agronómicas en un entorno afectado por Huanglongbing (HLB).

Los criterios que se consideraron para la selección de las parcelas demostrativas fueron los siguientes:

1. Ubicación accesible y visible, que facilitara la transferencia tecnológica.
2. Superficie mínima de una hectárea, para asegurar representatividad agronómica.
3. Historial de baja productividad, ideal para evaluar la mejora inducida por el MAIS.
4. Facilidad de monitoreo y participación de productores, favoreciendo la adopción del manejo.

- **Adaptación del MAIS a las condiciones de cada unidad productiva**

El plan se ajustó con base en las condiciones particulares de cada unidad productiva, considerando tanto los resultados del análisis de suelo como la información obtenida mediante una encuesta diagnóstica inicial, se tomó en cuenta:

1. Tipo de suelo
2. Disponibilidad de agua
3. Edad y densidad del huerto
4. Condiciones climáticas
5. Resultados de la encuesta y análisis nutrimentales

Variables evaluadas

En esta investigación se evaluaron el rendimiento inicial y final, que implicó medir las variables del tratamiento en cada parcela en 2023, al final de 2024 y de enero a marzo 2025.

El rendimiento se estimó mediante:

- **Rendimiento inicial:** se cuantificó contando los frutos que tuvieron un diámetro aproximado de un centímetro en un metro cuadrado para lo cual se utilizó un cuadro con esta medida, en cada uno de los puntos cardinales a una altura de dos metros y cuantificando todos los frutos que estaban dentro de dicho cuadro.
- **Rendimiento esperado:** se multiplicó el número de frutos presentes en los cuatro puntos cardinales por el número de árboles por hectárea por el peso estimado de los frutos en su etapa madura, que es 220 gramos.
- **Rendimiento final:** se contaron todos los frutos presentes en 10 árboles tomados al azar, dentro de la hectárea evaluada, posteriormente se pesaron diez frutos al azar completamente maduros y se observó que en promedio tuvieron 220 gramos cada uno. Se calculó el rendimiento con el número de árboles por hectárea y se multiplicó por el peso de fruto y el promedio de número de frutos presentes en los 10 árboles muestreados.

Resultados y Discusión

Efectividad del MAIS en la recuperación del rendimiento

La implementación del Plan de Manejo Agronómico Integral Sostenible (MAIS) en las parcelas demostrativas permitió validar, en condiciones reales de campo, su eficacia como estrategia para mitigar los efectos del Huanglongbing (HLB) y mejorar la productividad del naranjo (*Citrus sinensis*). El MAIS integró prácticas nutricionales, culturales y fitosanitarias adaptadas con base en un diagnóstico agronómico integral, que incluyó análisis de suelo, historial productivo, nutrición balanceada, fertilización con bioestimulantes, manejo de plagas y enfermedades, y colaboración activa con los productores.

Los resultados mostraron incrementos sustanciales en la mayoría de las parcelas (**Cuadro 2**). Por ejemplo, en el Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache, el rendimiento pasó de un crítico $0.51 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a una estimación de $10.75 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ para la temporada 2024-2025, tras la aplicación disciplinada de todas las estrategias del plan. La recuperación se atribuyó al fortalecimiento fisiológico del árbol mediante una fertilización balanceada, podas estratégicas y control eficaz del vector.

Cuadro 2. Estimación inicial de rendimiento.

Parcela demostrativa	Rendimiento 2023 ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Rendimiento 2024 ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Rendimiento estimado 2025 ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)
Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache, Ver.		0.51 (Primera producción)	10.75
Hidalgo Amajac, Álamo Temapache, Ver.	13	12	15
Úrsulo Galván uno "El Limonar", Ver.	4	14	9.3

El Cedral, Ver.	3	7	28.4
Aguanosa, El Refugio, SLP.	2	7	19.25
La Caldera Vieja, El Refugio, SLP.	29	17	20.11
El Mezquite, El Refugio, SLP.	2	7	20.5
Alfredo Escobar, La Reformita, SLP.	10	7	20.8

Otro caso representativo fue en la parcela “El Mezquite”, que con un rendimiento inicial de $2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ alcanzó $20.5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ tras la incorporación oportuna de la fertilización con bioestimulantes, coberturas vegetales, poda de rejuvenecimiento, y riego por goteo. Las parcelas Aguacanosa y Caldera Vieja (Cd. Fernández) también reflejaron incrementos notables, alcanzando 19.25 y $20.11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ respectivamente, mediante el uso estratégico de bioestimulantes y la optimización del riego. Similar fue el comportamiento en “La Reformita”, SLP, que de tener un rendimiento de $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ aumentó a $20.8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, gracias a la intensificación técnica alineada con el estado fenológico del cultivo y las condiciones del sitio.

En El Cedral (Papantla), el rendimiento pasó de 3 a $28.4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, resultado de la adecuada gestión de nutrición balanceada y podas sanitarias, que favorecieron el amarre de fruto.

En particular, la nutrición balanceada, la incorporación de coberturas vegetales y el uso de inductores como parte del MAIS, jugaron un papel clave en la recuperación de la productividad. Estos resultados coinciden con lo reportado por Pérez et al. (2024), quienes destacan que el adecuado suministro de nutrientes y la estimulación de mecanismos de defensa fisiológica pueden mitigar parcialmente los efectos del *Candidatus Liberibacter asiaticus* sobre el rendimiento del cítrico.

El único caso donde se obtuvo un rendimiento con un menor incremento fue en la parcela de Hidalgo Amajac, donde de $13 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ obtuvo $15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Aunque el incremento fue menor, este resultado sugiere un efecto estabilizador del MAIS bajo condiciones climáticas adversas, lo cual también se considera relevante al hablar de resiliencia productiva.

En contraste, en la parcela El Limonar (Úrsulo Galván), se estimó un rendimiento final de $9.3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, a pesar de haber alcanzado $14 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ en un momento intermedio. La caída se atribuyó a la decisión

del productor de modificar el tratamiento técnico e incorporar productos comerciales de uso tradicional (“milagro”), lo que reflejó la existencia de una resistencia cultural a la adopción tecnológica. Este fenómeno es común en el campo y resalta la importancia del acompañamiento técnico sostenido, el seguimiento puntual y la construcción de la confianza para garantizar una correcta implementación del manejo.

Este hallazgo se relaciona con lo planteado por Esquivel et al. (2012), quienes demostraron que el daño causado por el HLB al sistema vascular reduce significativamente el transporte de agua y nutrientes, provocando una disminución progresiva en la productividad. Así, la comparación directa entre árboles manejados con el MAIS y el testigo pone en evidencia que la adopción tecnológica, cuando se contextualiza y se acompaña técnicamente, puede marcar una diferencia crítica en la sostenibilidad del cultivo.

Este estudio contribuye al debate actual sobre el manejo del HLB en México, proponiendo un enfoque alternativo al modelo tradicional de erradicación y control del vector como estrategias únicas. El MAIS se basa en el principio de convivencia con la enfermedad, buscando mantener la funcionalidad del árbol mediante la estimulación de su fisiología.

Además, la elección de parcelas demostrativas como plataforma metodológica permitió validar prácticas agronómicas sostenibles en condiciones climáticas diversas y con participación directa de los productores. Esta estrategia de extensión contrasta positivamente con los modelos verticales tradicionales, cuya efectividad se ha visto limitada por la falta de articulación institucional y diagnósticos participativos (Trigo & Elverdin, 2019).

Los resultados también refuerzan la propuesta de Pineda et al. (2024), quienes argumentan que el manejo del vector debe formar parte de un enfoque integral que considere el entorno agroecológico, la fenología del cultivo y la interacción planta-patógeno. En este sentido, el MAIS se alinea con los principios de la agroecología aplicada a sistemas citrícolas complejos y aporta una propuesta concreta, basada en evidencia, para fortalecer la resiliencia de los agroecosistemas citrícolas ante el HLB.

El presente estudio contribuye al estado del arte al validar en campo un modelo metodológico participativo, sustentado en evidencia técnica y adaptable a distintas condiciones agroecológicas. Contrasta con otras investigaciones que priorizan el control unidimensional (nutricional,

fitosanitario o biológico por separado), al demostrar que la integración estratégica de prácticas y la constancia en su aplicación son determinantes para el éxito.

Conclusión

La presente investigación demostró que el manejo agronómico integral sostenible (MAIS) es una estrategia técnica y socialmente viable para mejorar la productividad del cultivo del naranjo (*Citrus sinensis*) y convivir con el Huanglongbing (HLB). Su implementación permitió recuperar la productividad en ocho parcelas demostrativas, mediante el uso de prácticas adaptadas a las condiciones específicas de cada unidad de producción. Se comprobó que el éxito del modelo depende tanto de la aplicación completa y constante del plan de manejo agronómico integral sostenible, como de la participación de los productores en el proceso. Los resultados validan la hipótesis planteada, al mostrar que es posible convivir con el HLB a través de estrategias sostenibles que fortalecen la resiliencia del sistema productivo.

Metodológicamente, el uso de parcelas demostrativas y el enfoque colaborativo entre técnicos y productores no solo ha permitido la transferencia efectiva de tecnología, sino también la generación de conocimiento situado. Esta propuesta impulsa un cambio de paradigma: de la simple prescripción técnica a la co-construcción de soluciones adaptadas y sostenibles.

Referencias

- Bove, J. M. 2006. Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. *Journal of Plant Pathology*. 88 (1): 7-37
- Esquivel Chávez, F.; Valdovinos Ponce, G.; Mora Aguilera, G.; Gómez Jaimes, R.; Velázquez Monreal, J. J.; Manzanilla Ramírez, M. Á.; Flores Sánchez, J. L.; López Arroyo, J. I. (2012). Análisis histológico foliar de cítricos agrios y naranja dulce con síntomas ocasionados por *Candidatus Liberibacter asiaticus*. *Agrociencia*, 46(8), 769-782.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000800003&lng=es&tlng=es.](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000800003&lng=es&tlng=es)

- Flores Sánchez, J. L.; Mora Aguilera, G.; Loeza Kuk, E.; López Arroyo, J. I.; Domínguez Monge, S.; Acevedo Sánchez, G.; Robles García, P. (2015). Pérdidas en producción inducidas por *Candidatus Liberibacter asiaticus* en Limón Persa, en Yucatán México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 33(2), 195-210.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092015000200195
- Gómez C., M. A. (2023). Producción de naranja cae 50% en Veracruz; estiman pérdidas por 16 mil mdp. *Imagen Agropecuaria*. <https://imagenagropecuaria.com/2023/produccion-de-naranja-cae-50-en-veracruz-estiman-perdidas-por-16-mil-mdp/>
- Li J, Li L, Pang Z, Kolbasov VG, Ehsani R, Carter EW, N. (2019). Desarrollo de estrategias de manejo del Huanglongbing de cítricos (HLB) basadas en la gravedad de los síntomas en las regiones productoras de cítricos endémicos de HLB. *Fitopatología*. Abril de 2019; 109(4):582-592. doi: 10.1094/PHYTO-08-18-0287-R. Epub 5 de marzo de 2019. PMID: 30418089.
- Millán-Martínez, JE; Almaguer-Vargas, G; Colinas-León, M.T.B.; Carvajal-Salazar, V.A.; Márquez-Berber, S.R. 2025. *Diaphorina citri* en naranjos con tres tipos de manejo del suelo en Veracruz, México. En prensa.
- Mora Aguilera, G.; Robles García, P.; López-Arroyo, J. I.; Flores Sánchez, J.; Acevedo Sánchez, G.; Domínguez Monge, S.; Gutierrez Espinosa, A.; Loeza Kuk, E.; González Gómez, R. (2014). Situación Actual y Perspectivas del Manejo del HLB de los Cítricos. *Revista mexicana de fitopatología*, 32(2), 108-119.
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092014000200108&lng=es&tlng=es.](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092014000200108&lng=es&tlng=es)
- Pineda Cagua, B. G.; Hernández Mendoza, J. L.; Hernández Delgado, S. J.; Gill Langarica, H. R.; García Olivares, J. G.; De La Rosa Reyna, X. F.; Quiroz Velásquez, J. D' C. (2024). El impacto de Huanglongbing, HLB, en la producción mundial de cítricos. *Revista Boliviana de Química*, 41(1), 49-58. Epub 00 de abril de 2024.<https://doi.org/10.34098/2078-3949.41.1.5>

- Pérez Zarate, L. A.; Osorio Acosta, F.; Ortega Arenas, L. D.; Martínez Hernández, A.; Villanueva Jiménez, J. A. (2024). Huanglongbing (HLB) de los Cítricos: Impacto Económico y Variabilidad Genética del Patógeno en México. *Agro Divulgación*.
- Rendón Medel, R.; Roldán Suárez, E.; Cruz Castillo, J. G.; Díaz José, J. (2016). Criterios para la identificación de módulos demostrativos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(spe15), 2939-2948. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016001102939&lng=es&tlng=es.
- Robles González, M. M.; Orozco Santos, M.; Manzanilla Ramírez, M. A.; Velázquez Monreal, J. J.; Carrillo-Medrano, S. H. (2017). Efecto del HLB sobre el rendimiento de limón mexicano en Colima, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(5), 1101-1111. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.111>
- Rouse, R. E.; Ozores-Hampton, M.; Roka, F. M. y Roberts, P. (2017). Rehabilitación de árboles de cítricos afectados por Huanglongbing mediante podas severas y tratamientos nutricionales foliares mejorados. *HortScience*, 52(7), 972–978. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI11105-16>
- SIAP (2024). Panorama Agroalimentario 2018-2024. Agricultura. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Edición 2024. [Panorama-Agroalimentario-2024 Finish](#)
- Torres-González, C. J.; Almaguer-Vargas, G.; Álvarez-Sánchez, M. E.; Nieto-Ángel, R.; Carvajal-Salazar, V. A. 2025- Manejo de naranjo en condiciones de sequía y síntomas de Huanglongbing. En prensa.
- Trigo, E. & Elverdin, P. (2019). Los sistemas de investigación y transferencia de tecnología agropecuaria de América Latina y el Caribe en el marco de los nuevos escenarios de ciencia y tecnología. Documento N° 19. 2030 – Alimentación, agricultura y desarrollo rural en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: FAO. <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1235561>
- Wang, H.; Mulgaonkar, N.; Mallawarachchi, S.; Ramasamy, M.; Padilla C. S.; Irigoyen, S.; Coaker G.; Mandadi K. K.; Fernando S. (2022). Evaluación de la inhibición de la bomba de eflujo de *Candidatus Liberibacter Asiaticus* por péptidos antimicrobianos. *Moléculas*. 27(24):8729. doi: 10.3390/moléculas27248729. PMID: 36557860; PMCID: PMC978270.



The dialogue of knowledge in Peasant Schools: collective learning and territorial construction of knowledge

Adrián Lozano Toledano¹

Artemio Cruz León¹

Bernardino Mata García^{2*}

Lucio Noriero Escalante³

Abstract

This study analyzes the dialogue of knowledge as a pedagogical, epistemological, and political foundation of the Peasant Schools (Escuelas Campesinas ESCAMP by its Spanish abbreviation) promoted by the Universidad Autónoma Chapingo in collaboration with rural communities in Veracruz. Using a qualitative-descriptive approach and participatory action research, it systematizes experiences of agroecological learning and community organization developed between 2022 and 2024. Outcomes show that knowledge dialogue creates horizontal spaces for co-constructing knowledge, promotes agroecological innovation, and strengthens local autonomy in land management. The study suggests that these schools constitute a transformative rural education practice that links peasant, indigenous, and academic knowledge in processes of ethno-development and cognitive justice. The article provides an updated theoretical reflection on the dialogue of knowledge from the perspective of liberation philosophy, critical pedagogy, and epistemologies of the South.

Keywords: Dialogue of knowledge, popular education, agroecology, epistemologies of the South, participatory action research.

El diálogo de saberes en las Escuelas Campesinas: aprendizajes colectivos y construcción territorial del conocimiento

Resumen

Análisis del diálogo de saberes como fundamento pedagógico, epistemológico y político de las Escuelas Campesinas (ES CAMP) promovidas por la Universidad Autónoma Chapingo en colaboración con comunidades rurales de Veracruz. A partir de un enfoque cualitativo-descriptivo y del método de investigación-acción participativa, se sistematizan experiencias de aprendizaje agroecológico y organización comunitaria desarrolladas entre 2022 y 2024. Los resultados muestran que el diálogo de saberes genera espacios horizontales de coconstrucción del conocimiento, promueve la innovación agroecológica y fortalece la autonomía local en la gestión territorial. El estudio plantea que estas escuelas constituyen una práctica de educación rural transformadora, que vincula saberes campesinos, indígenas y académicos en procesos de etnodesarrollo y justicia cognitiva. El artículo aporta una reflexión teórica actualizada sobre el diálogo de saberes desde la filosofía de la liberación, la pedagogía crítica y las epistemologías del Sur.

Palabras clave: Diálogo de saberes, educación popular, agroecología, epistemologías del Sur, investigación-acción participativa.

¹Universidad Autónoma Chapingo, Posgrado en Desarrollo Rural Regional, km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco, Estado de México C. P. 56230. México.

²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Sociología Rural, km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco, Estado de México C. P. 56230. México.

³Universidad Autónoma Chapingo, Dirección General de Investigación, Posgrado y Servicio, km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco, Estado de México C. P. 56230. México.

*Autor para correspondencia: bmatag@hotmail.com Tel: 5579253467, ORCID ID: 0000-0003-3374-5028

Introduction

Rural education in Latin America has historically been marked by policies focused on productive modernization, which prioritized technology transfer and marginalized peasant and indigenous knowledge. This process reflects what Quijano (2000) termed the coloniality of knowledge, that is, the imposition of a eurocentric epistemological model that subordinates local rationalities to western science. In response to this colonial legacy, rural communities in Mexico and Latin America have promoted educational initiatives that seek to revalue their own knowledge and build horizontal relationships between universities and society.

Among these initiatives, the Peasant Schools (ES-CAMP) represent a popular and agroecological education model which integrates production, culture, and territory. Their methodology is based on the dialogue of knowledge, a concept that synthesizes a long Latin American tradition of liberating pedagogies and critical epistemologies. Through interaction among technicians, teachers, and peasants, these schools create learning spaces where knowledge is generated collectively and oriented toward social transformation.

At Universidad Autónoma Chapingo, since more than 25 years ago, an approach was initiated, leading to multiple experiences throughout the country and recently extended within the official programs of the current 4T government. One of the most extensive experiences was implemented in the state of Veracruz.

The ESCAMPs do not replicate the traditional classroom model, nor do they follow the formal educational schemes of the Ministry of Public Education (Secretaría de Educación Pública, SEP by its Spanish abbreviation). Rather, they represent a model that recognizes the value of diverse physical spaces for learning; these spaces do not necessarily have to be indoor, they can be a backyard, a tree, a plot, or a garden, suitable settings for knowledge exchange and training. ESCAMPs are *"informal spaces or sites for training and education where peasants exchange knowledge, skills, and experiences generated through their way of life and their relationship with nature"* (Lozano, 2011, 2016).

Peasant School is conceived as a circular teaching-learning-teaching relationship. Meaningful learning is prioritized, that is, that participants learn by doing, in horizontal communication among peasants, using

Introducción

La educación rural latinoamericana ha estado históricamente marcada por políticas centradas en la modernización productiva, que privilegiaron la transferencia tecnológica y marginaron los saberes campesinos e indígenas. Este proceso responde a lo que Quijano (2000) denominó la colonialidad del saber, es decir, la imposición de un patrón epistemológico eurocéntrico que subordina las racionalidades locales a la ciencia occidental. Frente a esta herencia colonial, las comunidades rurales de México y América Latina han impulsado experiencias educativas que buscan revalorizar el conocimiento propio y construir relaciones horizontales entre universidad y sociedad.

Entre estas iniciativas, las Escuelas Campesinas (ES-CAMP) constituyen una propuesta de educación popular y agroecológica que articula la producción, la cultura y el territorio. Su metodología se basa en el diálogo de saberes, concepto que sintetiza una larga tradición latinoamericana de pedagogías liberadoras y epistemologías críticas. A través de la interacción entre técnicos, docentes y campesinos, estas escuelas crean espacios de formación donde el conocimiento se genera colectivamente y se orienta hacia la transformación social.

En la Universidad Autónoma Chapingo, desde hace más de 25 años, se inició un planteamiento que ha operado múltiples experiencias en todo el país y recientemente se ha extendido dentro de los programas oficiales del gobierno de la 4T. Una de las experiencias más numerosas se aplicó en el estado de Veracruz.

Las ESCAMP, no reproducen el modelo tradicional de aula, ni siguen los esquemas educativos escolarizados de la Secretaría de Educación Pública (SEP). Se trata, más bien de un modelo que reconoce la validez de espacios físicos diversos para el aprendizaje; no necesariamente deben ser lugares cerrados, puede ser un patio, un árbol, una parcela, o un jardín, escenarios adecuados para el intercambio de saberes y la capacitación. Las ESCAMP, son *"espacios o sitios de capacitación y formación, informales, donde los campesinos intercambian saberes, conocimientos y experiencias generadas a través de su forma de vida y su relación con la naturaleza."* (Lozano, 2011, 2016).

La Escuela Campesina se concibe como una relación circular de enseñanza-aprendizaje-enseñanza. Se privilegia el aprendizaje significativo, es decir, que

their own words, where successes, errors, and adaptations made in the incorporation of new practices or technologies are shared (González & Aguilar, 2010).

This model aims to contribute to community development by empowering individuals, fostering social capital through increased trust, collaboration, and mutual support. Its objective is to generate synergies which enable rural communities to lead their own transformation processes.

In general, ESCAMPs are oriented and based on the following methodological principles of community intervention: dialogue of knowledge, shared knowledge, recovery of peasant knowledge, interactive communication, "dialogical" communication, development of critical thinking, defense of sustainability, integration of "practice with theory", social participation, self-management organization, solidarity, cooperation and democratic citizenship education.

The dialogue of knowledge

The dialogue of knowledge has its roots in Latin American critical pedagogy, particularly Freire (1970), for whom dialogue is an act of knowledge and liberation: "no one educates anyone else, no one educates themselves, people educate each other mediated by the world." Freire conceives education as a praxis that joins reflection and action to transform reality, laying the foundations for a participatory and emancipatory education.

Based on Fals'ideas (1985), this approach is extended to the field of social research, proposing participatory action research (PAR) as a way to produce knowledge from within communities, recognizing their epistemic and political capacity. In both cases, dialogue is not limited to a communication technique, but rather implies a break with hierarchies of knowledge.

Over the last few decades, the concept has been revisited and reinterpreted by authors such as Santos (2018) and Walsh (2009), who link it to epistemologies of the South. For Santos (2018), the dialogue of knowledges constitutes the core of an "ecology of knowledges" which recognizes the coexistence and complementarity between different forms of rationality. From this perspective, scientific knowledge is not superior to popular knowledge, but rather to one of its many expressions.

los participantes aprendan–haciendo, en una comunicación horizontal entre campesinos, con sus propias palabras, donde se comparten aciertos, errores y adaptaciones realizadas en la incorporación de nuevas prácticas o tecnologías (González & Aguilar, 2010).

Este modelo busca contribuir al desarrollo comunitario desde el empoderamiento de las personas, fomentado el capital social mediante el fortalecimiento de la confianza, la colaboración y el apoyo mutuo. Su objetivo es generar sinergias que permitan a las comunidades rurales liderar sus propios procesos de transformación.

En general, las ESCAMP se orientan y se basan en los principios metodológicos de intervención comunitaria siguientes: diálogo de saberes, conocimiento compartido, recuperación del saber campesino, comunicación interactiva, comunicación "dialógica", desarrollo del pensamiento crítico, defensa de la sustentabilidad, integración de "práctica con teoría", participación social, organización autogestionaria, solidaridad, cooperación y formación de ciudadanía democrática.

El diálogo de saberes

El diálogo de saberes tiene raíces en la pedagogía crítica latinoamericana, particularmente Freire (1970), para quien el diálogo es un acto de conocimiento y de liberación: "nadie educa a nadie, nadie se educa a sí mismo, los hombres se educan entre sí mediatizados por el mundo". Freire concibe la educación como una praxis que une reflexión y acción para transformar la realidad, sentando las bases de una educación participativa y emancipadora.

A partir de las ideas de Fals (1985) se amplía este planteamiento al ámbito de la investigación social, proponiendo la investigación–acción participativa (IAP) como forma de producir conocimiento desde las comunidades, reconociendo su capacidad epistémica y política. En ambos casos, el diálogo no se limita a una técnica de comunicación, sino que implica una ruptura con las jerarquías del conocimiento.

Durante las últimas décadas, el concepto fue retomado y resignificado por autores como Santos (2018) y Walsh (2009), quienes lo vinculan a las epistemologías del Sur. Para Santos (2018), el diálogo de saberes constituye el núcleo de una "ecología de saberes" que reconoce la coexistencia y complementariedad entre distintas formas de racionalidad. Desde esta perspectiva, el conocimiento científico no es superior al conocimiento popular, sino a una de sus múltiples expresiones.

The philosopher Dussel (1998, 2015) introduces a fundamental ethical and political dimension: the dialogue of knowledge can only take place through the recognition of the other as a subject of knowledge. His *philosophy of liberation* proposes that modernity has constructed an exclusive rationality that defines who can speak and who can be heard. In response, he proposes a critical rationality “from the other side of history,” one that restores voice and legitimacy to those denied by colonialism.

Along these lines, Quijano (2000) explains that the coloniality of power and knowledge are the basis of the modern-colonial order. Overcoming this coloniality requires constructing forms of knowledge that stem from the historical experiences and rationalities of subalternized communities. The dialogue of knowledges, therefore, is a practice of epistemological decolonization, where the act of knowing is transformed into a collective process of mutual recognition.

These ideas offer a robust epistemological foundation for rural and agroecological education experiences. Peasant Schools, by recognizing local knowledge as a legitimate source of science, operate as spaces of “epistemic liberation” in the Dusselian sense, but also from a pedagogical perspective.

The dialogue of knowledge as a pedagogical and methodological category

In its pedagogical dimension, the dialogue of knowledges is directly linked to Latin American popular education: learning occurs through collective problematization and reflection on practice (Freire, 1970). In its methodological dimension, it constitutes the operational principle of participatory action research: knowing by transforming, transforming by knowing (Fals, 1985).

In the agroecology field, authors such as Altieri & Toledo (2011); Toledo & Barrera-Bassols (2010) have shown that peasant production embodies its own ecological rationality, which can be integrated with modern science through horizontal learning processes. This intertwining produces socially appropriate and culturally sustainable technological innovations.

Therefore, the dialogue of knowledge is not merely an exchange of information; it is a political and ethical practice that seeks to redistribute power in the production of knowledge. In rural contexts, this process translates into the territorial co-construction of

El filósofo Dussel (1998, 2015) introduce una dimensión ética y política fundamental: el diálogo de saberes solo puede realizarse desde el reconocimiento del otro como sujeto de conocimiento. *Su filosofía de la liberación* plantea que la modernidad ha construido una racionalidad excluyente que define quién puede hablar y quién puede ser escuchado. Frente a ello, propone una racionalidad crítica “desde el otro lado de la historia”, que devuelva voz y legitimidad a los sujetos negados por el colonialismo.

En esta línea, Quijano (2000) explica que la colonialidad del poder y del saber son las bases del orden moderno-colonial. Superar esa colonialidad requiere construir formas de conocimiento que partan de las experiencias y racionalidades históricas de los pueblos subalternizados. El diálogo de saberes, por tanto, es una práctica de descolonización epistemológica, donde el acto de conocer se transforma en un proceso colectivo de reconocimiento mutuo.

Estas ideas ofrecen un fundamento epistemológico robusto para las experiencias de educación rural y agroecológica. Las Escuelas Campesinas, al reconocer los saberes locales como fuente legítima de ciencia, operan como espacios de “liberación epistémica” en el sentido dusseliano, pero también desde la pedagogía.

El diálogo de saberes como categoría pedagógica y metodológica

En su dimensión pedagógica, el diálogo de saberes se vincula directamente con la educación popular latinoamericana: se aprende a través de la problematización colectiva y la reflexión sobre la práctica (Freire, 1970). En su dimensión metodológica, constituye el principio operativo de la investigación-acción participativa: conocer transformando, transformar conociendo (Fals, 1985).

En el ámbito agroecológico, autores como Altieri & Toledo (2011); Toledo & Barrera-Bassols (2010) han mostrado que la producción campesina encierra una racionalidad ecológica propia que puede articularse con la ciencia moderna mediante procesos horizontales de aprendizaje. Este entrelazamiento produce innovaciones tecnológicas socialmente apropiadas y culturalmente sostenibles.

Por ello, el diálogo de saberes no es solo intercambio de información; es una práctica política y ética que busca redistribuir el poder en la producción del cono-

knowledge, where education becomes a means of community empowerment and defense of life. Ultimately, these pedagogical and epistemological processes contribute to the construction of local solutions, whose meaning is linked to ethnodevelopment and well living.

Towards an operational definition

Based on the above, the dialogue of knowledge can be framed as: A process of co-production of knowledge based on horizontality, the recognition of epistemic diversity and the articulation between local practices and critical theories, oriented towards the social and ecological transformation of the territory, which allows the construction of alternatives to the development of the communities involved.

Within the framework of the initiatives promoted by the Universidad Autónoma Chapingo, the need arises to understand how the dialogue of knowledge constitutes the pedagogical, epistemological, and political axis of Peasant Schools (ESCAMP), and how this approach contributes to the social and territorial transformation of rural communities. How are peasant, Indigenous, and academic knowledge articulated in the educational processes developed in the ESCAMPs? What implications does the dialogue of knowledge have for the co-construction of knowledge, agroecological innovation, and community autonomy? To what extent do these experiences represent practices of epistemological decolonization and liberating education in rural areas?

Based on these questions, the overall objective of this study is to analyze the dialogue of knowledge as a pedagogical, epistemological and political foundation of the Peasant Schools, to understand how it contributes to the territorial co-construction of knowledge, agroecological innovation and community autonomy in rural contexts of Veracruz.

From this purpose the following specific objectives are derived: to systematize the learning and community organization experiences developed in the ESCAMPs, highlighting the ways in which the dialogue of knowledges articulates peasant, indigenous and academic knowledge in processes of agroecological training and popular education and to interpret the epistemological, pedagogical and political implications of the dialogue of knowledges, identifying

En contextos rurales, este proceso se traduce en la coconstrucción territorial del saber, donde la educación se convierte en medio de fortalecimiento comunitario y de defensa de la vida. A final de cuentas estos procesos pedagógicos y epistemológicos contribuyen a la construcción de soluciones locales, cuyo significado se liga al etnodesarrollo y buen vivir.

Hacia una definición operativa

A partir de lo anterior, el diálogo de saberes puede plantearse como: Un proceso de coproducción de conocimiento basado en la horizontalidad, el reconocimiento de la diversidad epistémica y la articulación entre prácticas locales y teorías críticas, orientado a la transformación social y ecológica del territorio, lo cual permite la construcción de alternativas al desarrollo de las comunidades involucradas.

En el marco de las experiencias impulsadas por la Universidad Autónoma Chapingo, surge la necesidad de comprender de qué manera el diálogo de saberes se constituye en el eje pedagógico, epistemológico y político de las Escuelas Campesinas (ESCAMP), y cómo este enfoque contribuye a la transformación social y territorial de las comunidades rurales. ¿De qué forma se articulan los conocimientos campesinos, indígenas y académicos en los procesos educativos desarrollados en las ESCAMP? ¿Qué implicaciones tiene el diálogo de saberes en la coconstrucción del conocimiento, la innovación agroecológica y la autonomía comunitaria? ¿En qué medida estas experiencias representan prácticas de descolonización epistemológica y de educación liberadora en el ámbito rural?

A partir de estas interrogantes, el objetivo general de este estudio es analizar el diálogo de saberes como fundamento pedagógico, epistemológico y político de las Escuelas Campesinas, para comprender cómo contribuye a la coconstrucción territorial del conocimiento, la innovación agroecológica y la autonomía comunitaria en contextos rurales de Veracruz.

De este propósito se derivan los siguientes objetivos específicos: sistematizar las experiencias de aprendizaje y organización comunitaria desarrolladas en las ESCAMP, destacando las formas en que el diálogo de saberes articula conocimientos campesinos, indígenas y académicos en procesos de formación agroecológica y educación popular e interpretar las implicaciones epistemológicas, pedagógicas y

how this approach contributes to the decolonization of knowledge, the strengthening of ethnodevelopment and the consolidation of a pedagogy of territorial liberation.

Methodology

The study was conducted between 2022 and 2024 within the framework of the Rural Schools Program (ESCAMP) coordinated by the Universidad Autónoma Chapingo. A qualitative, descriptive, and interpretive approach was adopted, based on participatory action research (PAR), in which knowledge production and educational action are integrated into a single process.

Design and methodological approach

The investigation was structured in three phases:

1. Participatory diagnosis, in which peasants themselves identified the central problems of their communities (soil, pests, loss of seeds, marketing).
2. Educational and collective action intervention, which included field practices, workshops, experience exchanges and development of teaching materials.
3. Systematization and participatory analysis, in which local individuals validated results and reflected on the lessons learned.

The research team consisted of university professors, agroecological technicians, and local promoters, which ensured the triangulation of knowledge and sources. The techniques used were:

- Participant observation in classroom-plot sessions.
- Semi-structured group interviews (n=17).
- Participatory evaluation workshops.
- Documentary review of working plans, logs and community records.

Information processing and analysis

The data were organized into thematic matrices based on categories derived from the theoretical framework (dialogue of knowledge, participation, agroecology, organization, gender, youth). Inductive and axial co-

políticas del diálogo de saberes, identificando cómo este enfoque contribuye a la descolonización del conocimiento, al fortalecimiento del etnodesarrollo y a la consolidación de una pedagogía de la liberación territorial.

Metodología

El estudio se desarrolló entre 2022 y 2024 en el marco del programa de las Escuelas Campesinas (ESCAMP) coordinado por la Universidad Autónoma Chapingo. Se adoptó un enfoque cualitativo de tipo descriptivo e interpretativo, sustentado en la investigación-acción participativa (IAP), en la cual la producción de conocimiento y la acción educativa se integran en un mismo proceso.

Diseño y enfoque metodológico

La investigación se estructuró en tres fases:

1. Diagnóstico participativo, en el que los propios campesinos identificaron los problemas centrales de sus comunidades (suelo, plagas, pérdida de semillas, comercialización).
2. Intervención educativa y de acción colectiva, que incluyó prácticas de campo, talleres, intercambios de experiencias y elaboración de materiales didácticos.
3. Sistematización y análisis participativo, en los que los actores locales validaron los resultados y reflexionaron sobre los aprendizajes obtenidos.

El equipo de investigación estuvo conformado por docentes universitarios, técnicos agroecológicos y promotores locales, lo que garantizó la triangulación de saberes y fuentes. Las técnicas empleadas fueron:

- Observación participante en sesiones de aula-parcela.
- Entrevistas grupales semiestructuradas (n=17).
- Talleres de evaluación participativa.
- Revisión documental de planes de trabajo, bitácoras y registros comunitarios.

Procesamiento y análisis de la información

Los datos se organizaron en matrices temáticas con base en categorías derivadas del marco teórico (diálogo de saberes, participación, agroecología, organización, género, juventud). Se aplicó una codificación inductiva y

ding was applied (Miles et al., 2014), and empirical evidence was triangulated with information from institutional and field documents. The results were validated in two regional meetings of the Peasant Schools (October 2023 and May 2024).

Results

The results presented are interpreted through the perspective of liberation philosophy (Dussel, 1998), Freire's critical pedagogy (1970), and Santos's ecology of knowledge (2018), framed within the ethical principle of recognizing the other and the decolonization of knowledge (Quijano, 2000). From this perspective, the ESCAMPs are not simply spaces for technical training, but rather pedagogical and epistemological territories where a dialogue takes place among local, peasant, indigenous, and academic knowledge.

The field results obtained in seventeen Rural Schools of Veracruz, systematized during the period 2022–2024, are presented. The analysis was not limited to describing the contents of the projects, but sought to interpret the processes of co-construction of knowledge, pedagogical horizontality and the generation of alternatives for sustainable territorial management.

Table 1 summarizes the main empirical characteristics of the experiences, organized by region. This is followed by an analytical interpretation that integrates pedagogical, agroecological, organizational, and gender dimensions to explain how the dialogue of knowledge materializes in educational practice.

The ESCAMPs analyzed represented a network of seventeen agroecological training centers, distributed in five regions of Veracruz, where the coffee tradition and peasant organization are strengthened, facilitating sustained territorial education processes.

These experiences are conceived as spaces for mutual learning rather than as schools in the conventional sense. Each one integrated among 20 and 40 active participants—peasants, young people, and rural women—articulating agronomic, ecological, and cultural knowledge. Their working dynamic begins with participatory assessments developed through workshops, field practices, regional meetings, and systematization processes.

The common denominator of all the experiences was the practice of knowledge dialogue, understanding this not only as cognitive exchange, but also as

axial (Miles et al., 2014) y se triangularon las evidencias empíricas con la información proveniente de documentos institucionales y de campo. Los resultados fueron validados en dos encuentros regionales de las Escuelas Campesinas (octubre de 2023 y mayo de 2024).

Resultados

Los resultados que se presentan se interpretan desde la filosofía de la liberación (Dussel, 1998), la pedagogía crítica de Freire (1970) y la ecología de saberes Santos (2018), enmarcados en el principio ético de reconocimiento del otro y la descolonización del conocimiento (Quijano, 2000). Desde esta perspectiva, las ESCAMP no son simplemente espacios de formación técnica, sino territorios pedagógicos y epistemológicos donde se produce un diálogo entre saberes locales, campesinos, indígenas y académicos.

Se presentan los resultados de campo obtenidos en diecisiete Escuelas Campesinas de Veracruz, sistematizadas durante el periodo 2022–2024. El análisis no se limitó a describir los contenidos de los proyectos, sino que buscó interpretar los procesos de coconstrucción del conocimiento, la horizontalidad pedagógica y la generación de alternativas para la gestión territorial sustentable.

El Cuadro 1 resume las características empíricas principales de las experiencias, organizadas por región. Posteriormente se ofrece una interpretación analítica que integra dimensiones pedagógicas, agroecológicas, organizativas y de género, para dar cuenta de la manera en que el diálogo de saberes se materializa en la práctica educativa.

Las ESCAMP analizadas representaron una red de diecisiete núcleos de formación agroecológica, distribuidos en cinco regiones de Veracruz, en donde se fortalece la tradición cafetalera y la organización campesina facilitando los procesos de educación territorial sostenidos.

Estas experiencias se conciben como espacios de interaprendizaje más que como escuelas en el sentido convencional. Cada una integró entre 20 y 40 participantes activos —campesinos, jóvenes y mujeres rurales— y articulan saberes agronómicos, ecológicos y culturales. Su dinámica de trabajo parte de diagnósticos participativos y se desarrolla mediante talleres, prácticas de campo, encuentros regionales y procesos de sistematización.

Table 1. Rural Schools participating in the study (2022–2024).
Cuadro 1. Escuelas Campesinas participantes en el estudio (2022–2024).

	Name / Nombre	Place/Municipality / Lugar/Mpo	Areas of action / Áreas de acción	Dialogue of Knowledge / Dialogo de Saberes
1	Peasant School for Training Organic Producers. / Escuela Campesina de Formación de Productores Orgánicos.	Communal land el Jobo, Tlapacoyan. / Ejido el Jobo, Tlapacoyan.	Environment, Environmental Education, Organic Production, Ecotechnologies, River Restoration. / Medio Ambiente, Educación Ambiental, Producción Orgánica, Ecotecnias, Rescate de los ríos.	Peasants shared their worldview, their understanding of the importance of caring for the environment, as well as their shamanic knowledge of energy management. / Los campesinos compartieron su cosmovisión, su concepción de la importancia del cuidado del ambiente, además sus conocimientos chamánicos en el manejo de la energía.
2	Peasant School on Organic Fertilizers. / Escuela Campesina en Abonos Orgánicos.	Communal land Piedra Pinta, Tlapacoyan. / Ejido Piedra Pinta, Tlapacoyan.	Organic Agriculture, Environmental Education, Vegetable variety, Gardens, Organic Fertilizers. / Agricultura Orgánica, Educación Ambiental, Huertos Familiares de Hortalizas, Abonos Orgánicos.	Peasants shared their knowledge for pest and disease control, such as the management of the "chahuixtle". / Los campesinos compartieron sus conocimientos para el control de plagas y enfermedades, como el caso del manejo del "chahuixtle".
3	Platallinas Peasant School. / Escuela Campesina Platallinas.	Pochotitán, Tlapacoyan.	Composts, added value to the Lady finger banana, tortillas made of banana. / Compostas, valor agregado al plátano dominico, tortillas de plátano.	Peasants shared their knowledge of banana growing and its several uses: medicinal, nutritional, artisanal, religious, and economic. Traditional knowledge for making banana tortillas was also recovered. / Los campesinos compartieron sus conocimientos en el manejo del cultivo de plátano, las formas en que lo usan: medicinal, alimenticio, artesanal, religioso y económico. Se realizó la recuperación de saberes para la elaboración de tortillas de plátano.
4	Peasant School Juntos Podemos / Escuela Campesina Juntos Podemos.	Communal land Echeverría, Tlapacoyan. / Ejido Echeverría, Tlapacoyan.	Industrialization of agricultural products, bread making, cheese and yogurt production. / Industrialización de productos agropecuarios, elaboración de pan, producción de queso y yogurt.	The members demonstrated their knowledge of community behavior, a form of trust, mutual support, and collaboration. / Los integrantes mostraron sus saberes en el comportamiento comunitario, una forma de confianza, de apoyo mutuo y de colaboración.
5	Peasant School Vamos Juntos / Escuela Campesina Vamos Juntos.	Communal land la Palmilla, Tlapacoyan. / Ejido la Palmilla, Tlapacoyan.	Preparation of chipotle peppers in adobo sauce, Environmental education. / Elaboración de chiles chipotles adobados, Educación ambiental.	The community expressed its knowledge of environmental care, as they have lived respectfully with the river since their ancestors. / La comunidad expresó sus conocimientos en el cuidado del ambiente, como desde sus ancestros han convivido con el río de manera respetuosa.
6	Peasant School. / Escuela Campesina.	Eytepequez, Tlapacoyan.	Promotion of local gastronomy (Chilahuates). / Promoción de la gastronomía local (Chilahuates).	The shared knowledge refers to knowledge related to local gastronomy, collectively recovering dishes and foods that which no longer being consumed. / Los conocimientos compartidos, son los saberes relacionados con la gastronomía local, recuperando de manera colectiva platillos y alimentos que se estaban dejando de consumir.

Table 1. Rural Schools participating in the study (2022–2024) (cont.).
Cuadro 1. Escuelas Campesinas participantes en el estudio (2022–2024) (cont.).

	Name / Nombre	Place/Municipality / Lugar/Mpo	Areas of action / Áreas de acción	Dialogue of Knowledge / Dialogo de Saberes
7	Peasant School. / Escuela Campesina.	Platanozapan, Tlapacoyan.	Organic production, industrialization of agricultural products, cheese and yogurt production. / Producción orgánica, Industrialización de productos agropecuarios, producción de queso y yogurt.	The shared knowledge was related to respect for animals, mainly cattle, which are not seen as a simple object, but as part of the family. / Los saberes compartidos fueron los relacionados con el respeto a los animales, principalmente el ganado vacuno, que no es visto como un simple objeto, sino como parte de la familia.
8	Peasant School for the Community. / Escuela Campesina por la comunidad.	Colonia el Rastrillo, Tlapacoyan.	Industrialization of agricultural products, environment. / Industrialización de productos agropecuarios, medio ambiente.	What was shared in this experience is the structure of community organization that is taken from the older people, the support, the work, the solidarity. / Lo que en esta experiencia se compartió es la forma de organización comunitaria que es retomada de las personas más grandes, el apoyo, la faena, la solidaridad.
9	Peasant School Vamos Todos. / Escuela Campesina Vamos Todos.	Buenavista, Tlapacoyan.	Industrialization of agricultural products, bread making, cheese and yogurt production. / Industrialización de productos agropecuarios, elaboración de pan, producción de queso y yogurt.	In this experience, there is knowledge of the energy management of what they call "an enchantment", a kind of door to another dimension that is located on a mountain in the area called dos cerros. / En esta experiencia, se tiene el conocimiento del manejo de energía de lo que llaman "un encanto", una especie de puerta a otra dimensión que está ubicada en una montaña de la zona llamada dos cerros.
10	Solidarity Peasant School. / Escuela Campesina Solidaria.	El Mohón, Hueytamalco.	Family vegetable gardens, coffee liqueur production, environmental education, rescue of the Bobos River. / Huertos familiares de hortalizas, elaboración de licor de café, educación ambiental, rescate del río bobos.	The knowledge and wisdom shared through this experience is the ancestral organization of indigenous communities, which has allowed them to be a benchmark in what is called the solidarity economy. / Los conocimientos y los saberes compartidos por esta experiencia, es la organización ancestral de las comunidades indígenas, que les ha permitido ser referente en lo que se llama la economía solidaria.
11	Community Peasant School. / Escuela Campesina Comunitaria.	Limontitan Chico, Hueytamalco.	Organic production, home vegetable gardens, organic fertilizers. / Producción orgánica, huertos familiares de hortalizas, abonos orgánicos.	Peasants shared their knowledge regarding energy sources, especially those located near rivers. / Los campesinos compartieron sus saberes en relación con las energías y principalmente las que están junto a los ríos.
12	Peasant School in Organic Production. / Escuela Campesina en Producción Orgánica.	San Isidro, Tlapacoyan.	Organic lemon production. / Producción orgánica de limón.	Peasants shared some knowledge on traditional pest management, without the use of agrochemicals. / Se compartió de parte de los campesinos algunos conocimientos en el manejo de plagas de manera tradicional, sin uso de agroquímicos.

Table 1. Rural Schools participating in the study (2022–2024) (cont.).
Cuadro 1. Escuelas Campesinas participantes en el estudio (2022–2024) (cont.).

	Name / Nombre	Place/Municipality / Lugar/Mpo	Areas of action / Áreas de acción	Dialogue of Knowledge / Dialogo de Saberes
13	Neighborhood Peasant School. / Escuela Campesina Vecinal.	Colonia 22 de noviembre, Tlapacoyan.	Home vegetable gardens, pizza and bread making. / Huertos familiares de hortalizas, elaboración de pizza y pan.	In that urban experience, as the members arrived in the municipal capital from different communities, they had the opportunity to learn about several ways of organization, food and processing of agricultural products. / En esa experiencia urbana, como los integrantes llegaron a la cabecera municipal de diferentes comunidades, se tuvo oportunidad de conocer varias formas de organización, de alimentación y transformación de productos agropecuarios.
14	Peasant School for Life. / Escuela Campesina por la vida.	El Arco, Jalacingo.	Handicrafts, Organic production, Environmental education. / Artesanías, Producción orgánica, educación ambiental.	The knowledge shared in this experience was that of the worldview regarding coexistence with nature, respect for the “monte”, the way of asking permission to plant. / Los conocimientos compartidos en esta experiencia fueron los de la cosmovisión respecto a la convivencia con la naturaleza, el respeto al “monte”, la forma de pedir permiso para sembrar.
15	Peasant School for the Community. / Escuela Campesina por la Comunidad.	Ixtacuaco, Tlapacoyan.	Marketing of agricultural products, organic production, environmental education. / Comercialización de productos agropecuarios, producción orgánica, educación ambiental.	There was an opportunity to learn about knowledge related to environmental care. / Se tuvo oportunidad de conocer los saberes en torno al cuidado del ambiente.
16	Peasant School of Organic Culture. / Escuela Campesina de Cultura Orgánica.	Communal land San Pedro, Tlapacoyan. / Ejido San Pedro, Tlapacoyan.	Production of organic citrus fruits, vegetable gardens, medicinal and aromatic plants. / Producción de cítricos orgánicos, huertos de hortalizas, medicinales y aromáticas.	Peasants shared their knowledge related to the Totonaca worldview, the management of energies and the importance of the tatas (men of knowledge), as well as their knowledge of astrology for the management of their crops. / Los campesinos compartieron sus saberes en relación con la cosmovisión totonaca, el manejo de las energías y la importancia de los tatas (hombres de conocimiento), además de los conocimientos de astrología para el manejo de sus cultivos.
17	Peasant School: Colectivo Ciudadano Tlacualoyan. / Escuela Campesina: Colectivo Ciudadano Tlacualoyan.	Colonia Tlacualoyan, Tlapacoyan.	Vegetable growing, vermicompost making and medicinal plants. / Cultivo de hortalizas, elaboración de lombri-composta y plantas medicinales.	Knowledge about medicinal plants handling was recovered, more than 170 local plants. / Se logró recuperar los conocimientos sobre el manejo de las plantas medicinales, más de 170 plantas locales.

Source: Author’s self-made based on fieldwork data.

Fuente: Elaboración propia con trabajo de campo.

a methodology for research and transformation. In Freire's words (1970), education becomes liberating praxis when those who learn and those who teach recognize each other as subjects. This ethical principle of recognition (Dussel, 1998) is what sustains the daily functioning of the ESCAMPs.

The territorialization of knowledge and the epistemological break

Results show that the ESCAMP model embodies an epistemological break from traditional agricultural education. Instead of transferring technology, the schools produce knowledge from local practice, generating a territorialization of knowledge. This process reflects the "ecology of knowledges" described by Santos (2018), where peasant and scientific knowledge engage in dialogue on equal terms.

In most schools, the curriculum content emerged from community assemblies, demonstrating that learning priorities are defined collectively. Thus, knowledge is built from the *ground up*, challenging the coloniality of knowledge (Quijano, 2000) and asserting the epistemic autonomy of communities.

Agroecological innovations and co-production of knowledge

The seventeen Rural Schools recorded at least two agroecological innovation projects during the study period. On average, 88% developed biofertilizers, 71% recovered native seeds, and 59% implemented agroforestry systems. But what is relevant is not the numbers, but the process: each innovation was the product of a dialogue of knowledge encompassing technical, ecological, and traditional expertise.

For example, in the State of Veracruz, in the municipalities of Tlapacoyan and Huatusco, producers adapted biological control techniques for pests based on knowledge of lunar cycles; in Zongolica, women combined traditional medicine practices with modern phytotherapy; and in Pichucalco, the concept of "escuela del fogón" redefines the domestic space as a place of agri-food learning.

These examples demonstrated that the dialogue of knowledge is not an abstraction, but a methodology of territorial co-production of knowledge, where scientific practices are reinterpreted from local cultural contexts.

El denominador común de todas las experiencias fue la práctica del diálogo de saberes, entendida aquí no solo como intercambio cognitivo, sino como una metodología de investigación y transformación. En palabras de Freire (1970), la educación se convierte en praxis liberadora cuando quienes aprenden y enseñan se reconocen mutuamente como sujetos. Este principio ético del reconocimiento (Dussel, 1998) es el que sustenta el funcionamiento cotidiano de las ESCAMP.

La territorialización del conocimiento y la ruptura epistemológica

Los resultados muestran que el modelo ESCAMP encarna una ruptura epistemológica frente a la educación agronómica tradicional. En lugar de transferir tecnología, las escuelas producen conocimiento desde la práctica local, generando una territorialización del saber. Este proceso refleja la "ecología de saberes" descrita por Santos (2018), donde el conocimiento campesino y el científico dialogan en condiciones de equivalencia.

En la mayoría de las escuelas, los contenidos curriculares surgieron de asambleas comunitarias, lo que demuestra que las prioridades de aprendizaje se definen colectivamente. Así, el conocimiento se construye *desde abajo*, cuestionando la colonialidad del saber (Quijano, 2000) y reivindicando la autonomía epistémica de las comunidades.

Innovaciones agroecológicas y coproducción de conocimiento

Las diecisiete Escuelas Campesinas registraron al menos dos experiencias de innovación agroecológica durante el periodo de estudio. En promedio, el 88 % desarrolló biofertilizantes, el 71 % recuperó semillas criollas y el 59 % implementó sistemas agroforestales. Pero lo relevante no son las cifras, sino el proceso: cada innovación es producto de un diálogo de saberes entre conocimientos técnicos, ecológicos y tradicionales.

Por ejemplo, en el Estado de Veracruz, en los municipios de Tlapacoyan y Huatusco, los productores adaptaron técnicas de control biológico para las plagas a partir del conocimiento sobre ciclos lunares; en Zongolica, las mujeres combinaron prácticas de medicina tradicional con fitoterapia moderna; y en Pichucalco, el concepto de "escuela del fogón" resignifica el espacio doméstico como lugar de aprendizaje agroalimentario.

Community organization and autonomy as a liberating praxis

Local committees were formed in fourteen schools, and productive cooperatives were created in ten of them. These organizations not only improve economic management but also strengthen social and epistemic autonomy. Collective participation in decision-making reflects Dussel's (2015) ethics of recognition: authority is exercised from within the community, not over it.

In the experiences in the state of Chiapas (Ocosingo and Pichucalco), this autonomy translates into educational self-management and articulation with indigenous community structures, where learning is part of the exercise of self-governance. In Veracruz, autonomy is expressed in solidarity-based marketing networks, farmers' markets, and seed banks, consolidating ethno-development processes guided by cultural memory and ecological sustainability.

Gender, youth and the decolonization of knowledge

Women played a significant role of the participating population; in other experiences, they constituted 46% of the total participants, and in eight schools, they held leadership roles. Their participation redefines the dialogue of knowledge from a gender and care perspective (Paredes, 2015; Tzul-Tzul, 2021). The incorporation of community health practices, traditional cooking, and seed saving demonstrated that women are bearers of knowledge rendered invisible by formal education.

Young people are represented and are active participants. Their involvement in documentation, digital communication, and experience mapping allows for a connection between rural traditions and contemporary tools. In this way, the exchange of knowledge becomes an intergenerational process that ensures the continuity of memory and innovation.

Empirical results confirm three dimensions of the dialogue of knowledge in Peasant Schools through: the epistemological dimension that breaks with the coloniality of knowledge and legitimizes multiple rationalities (Quijano, 2000; Santos, 2018); the ethical dimension that recognizes each participant as a subject of knowledge (Dussel, 1998; Freire, 1970) and the methodological dimension: it generates innovation

Estos ejemplos demuestran que el diálogo de saberes no es una abstracción, sino una metodología de coproducción territorial del conocimiento, donde las prácticas científicas se resignifican desde los contextos culturales locales.

Organización comunitaria y autonomía como praxis liberadora

En catorce escuelas se formaron comités locales y en diez se crearon cooperativas productivas. Estas organizaciones no solo mejoran la gestión económica, sino que fortalecen la autonomía social y epistémica. La participación colectiva en la toma de decisiones refleja la ética del reconocimiento de Dussel (2015): la autoridad se ejerce desde la comunidad, no sobre ella.

En las experiencias en el estado de Chiapas (Ocosingo y Pichucalco), esta autonomía se traduce en autogestión educativa y articulación con las estructuras comunitarias indígenas, donde el aprendizaje es parte del ejercicio de autogobierno. En Veracruz, la autonomía se expresa en redes de comercialización solidaria, ferias campesinas y bancos de semillas, consolidando procesos de etnodesarrollo orientados por la memoria cultural y la sustentabilidad ecológica.

Género, juventudes y descolonización del saber

Las mujeres constituyen una parte importante de la población participante, en otras experiencias el 46 % del total de participantes, y en ocho escuelas ocupan roles de liderazgo. Su participación resignifica el diálogo de saberes desde una perspectiva de género y cuidado (Paredes, 2015; Tzul-Tzul, 2021). La incorporación de prácticas de salud comunitaria, cocina tradicional y reproducción de semillas demuestra que las mujeres son portadoras de conocimientos invisibilizados por la educación formal.

Los jóvenes, se encuentran representados y son participantes activos. Su incorporación a tareas de documentación, comunicación digital y mapeo de experiencias permite conectar la tradición campesina con herramientas contemporáneas. De esta manera, el diálogo de saberes se convierte en un proceso intergeneracional que asegura la continuidad de la memoria y la innovación.

Los resultados empíricos confirman tres dimensiones del diálogo de saberes en las Escuelas Campesinas

through collective co-production (Fals, 1995; Toledo & Barrera-Bassols, 2010 and Altieri & Toledo, 2011).

As a whole, ESCAMPs constitute a pedagogy of territorial liberation, where knowledge is produced *in and for* the community. This finding reinforces the idea that the dialogue of knowledges is both a learning tool and a political act of recognition and decolonization.

These results show that the dialogue of knowledge in Peasant Schools is not simply an educational practice; it is a historical process of transformation that embodies the principle of recognizing the other (Dussel, 2015) and overcoming epistemic coloniality (Quijano, 2000). Agroecological innovations, community organization, and intergenerational participation are concrete expressions of a new rural rationality that combines memory, technique, and autonomy. These form the basis for discussing the materialization of epistemologies of the South and pedagogies of liberation, and their implications for rural education policy in Mexico.

Empirical results demonstrate that the ESCAMPs constitute a social laboratory where the principle of the dialogue of knowledge is materialized. This process is not limited to the didactic interaction among teachers, students, and producers, but rather expresses an epistemological break with the dominant rationality of agronomic knowledge. In this sense, the ESCAMP experience confirms what Dussel (1998) calls the *ethics of liberation*: the recognition of the other as a subject of knowledge and not as an object of intervention.

The dialogue of knowledge, as a *praxis*, translates into the decolonization of knowledge (Quijano, 2000). Each school operates as a micro-space where the idea that only modern science produces valid knowledge is dismantled. Farmers, by systematizing their experience, become researchers of their own practice; teachers, by learning from the communities, assume a role as mediators of the process. This horizontal exchange embodies the ecology of knowledge proposed by Santos (2018), where different rationalities coexist and complement each other.

Fieldwork shows that the horizontal pedagogy of the ESCAMPs does not arise from the absence of hierarchies, but from a dialectical process of mutual rec-

a través de: la dimensión epistemológica que rompe con la colonialidad del saber y legitima múltiples racionalidades (Quijano, 2000; Santos, 2018); la dimensión ética que reconoce a cada participante como sujeto del conocimiento (Dussel, 1998; Freire, 1970) y la dimensión metodológica: genera innovación mediante la coproducción colectiva (Fals, 1995; Toledo & Barrera-Bassols, 2010 y Altieri & Toledo, 2011).

En conjunto, las ESCAMP constituyen una pedagogía de la liberación territorial, donde el conocimiento se produce *en y para* la comunidad. Este hallazgo refuerza la idea de que el diálogo de saberes es tanto una herramienta de aprendizaje como un acto político de reconocimiento y descolonización.

Estos resultados muestran que el diálogo de saberes en las Escuelas Campesinas no se reduce a una práctica educativa; es un proceso histórico de transformación que encarna el principio de reconocimiento del otro (Dussel, 2015) y la superación de la colonialidad epistémica (Quijano, 2000). Las innovaciones agroecológicas, la organización comunitaria y la participación intergeneracional son expresiones concretas de una nueva racionalidad rural que combina memoria, técnica y autonomía. Estas son la base para la discusión de la materialización de las epistemologías del Sur y las pedagogías de la liberación, y cuáles son sus implicaciones para la política educativa rural en México.

Los resultados empíricos evidencian que las ESCAMP constituyen un laboratorio social donde se materializa el principio del diálogo de saberes. Este proceso no se limita a la interacción didáctica entre docentes, estudiantes y productores, sino que expresa una ruptura epistemológica frente a la racionalidad dominante del conocimiento agronómico. En este sentido, la experiencia de las ESCAMP confirma lo que Dussel (1998) denomina la ética de la liberación: el reconocimiento del otro como sujeto de conocimiento y no como objeto de intervención.

El diálogo de saberes, en tanto praxis, se traduce en la descolonización del saber (Quijano, 2000). Cada escuela opera como un microespacio donde se desmonta la idea de que solo la ciencia moderna produce conocimiento válido. Los agricultores, al sistematizar su experiencia, se convierten en investigadores de su propia práctica; los docentes, al aprender de las comunidades, asumen un rol de mediadores del proceso. Este in-

ognition. Peasant knowledge—rooted in biocultural memory, empirical observation, and community networks—engages in dialogue with agronomic science and academic agroecology (Altieri & Toledo, 2011). Instead of a vertical extension relationship, a reflective and transformative relationship is established, consistent with the participatory action research method (Fals, 1985), in which research is simultaneously education and organization.

From a territorial perspective, the ESCAMPs demonstrate that knowledge is rooted in both ecology and culture. The territorialization of knowledge—evident in the adaptation of agroecological techniques to the context of each community—validates Freire's idea that *no one teaches anyone else, but rather that everyone learns in communion with the world*. In this sense, the classroom expands to the coffee plantation, the cornfield, and the fogón (stove); education overflows into everyday life.

In the gender dimension, women emerge as epistemic subjects, bearers of knowledge rendered invisible by modern rationality. Their contributions to health, food, and seed conservation reflect a pedagogy of care (Paredes, 2015) that broadens the horizon of knowledge dialogue toward the sustainability of life. Similarly, youth participation demonstrates that knowledge is not a static asset, but rather an intergenerational process of reconstruction.

Finally, results confirm that the dialogue of knowledge is also a political practice. The creation of cooperatives, seed banks, and solidarity networks represents a response to the agro-industrial model and an assertion of autonomy. In terms of ethno-development, communities redefine progress from their culture and territory, articulating production with education and ecology. Thus, ESCAMPs constitute a pedagogy of territorial liberation, where knowledge becomes a means of exercising sovereignty over land and life.

Conclusions

The dialogue of knowledge constitutes the pedagogical and epistemological core of the Peasant Schools. Far from being an auxiliary methodology, it is a way of producing collective knowledge that recogni-

tercambio horizontal concretiza la ecología de saberes propuesta por Santos (2018), donde distintas racionalidades conviven y se complementan.

El trabajo de campo muestra que la horizontalidad pedagógica de las ESCAMP no surge de la ausencia de jerarquías, sino de un proceso dialéctico de reconocimiento mutuo. El conocimiento campesino -anclado en la memoria biocultural, la observación empírica y las redes comunitarias- dialoga con la ciencia agronómica y la agroecología académica (Altieri & Toledo, 2011). En lugar de una relación vertical de extensión, se configura una relación reflexiva y transformadora, coherente con el método de investigación-acción participativa (Fals, 1985), en la cual investigar es al mismo tiempo educar y organizar.

Desde el punto de vista territorial, las ESCAMP demuestran que el conocimiento tiene anclaje ecológico y cultural. La territorialización del saber -visible en la adaptación de técnicas agroecológicas al contexto de cada comunidad- valida la idea freireana de que nadie enseña a nadie, sino que todos aprenden en comunión con el mundo. En este sentido, el aula se expande al cafetal, al maizal y al fogón; la educación se desborda hacia la vida cotidiana.

En la dimensión de género, las mujeres emergen como sujetos epistémicos portadoras de saberes invisibilizados por la racionalidad moderna. Sus aportes en salud, alimentación y conservación de semillas reflejan una pedagogía del cuidado (Paredes, 2015) que amplía el horizonte del diálogo de saberes hacia la sostenibilidad de la vida. De modo similar, la participación juvenil demuestra que el conocimiento no es un patrimonio estático, sino un proceso intergeneracional de reconstrucción.

Finalmente, los resultados confirman que el diálogo de saberes es también una práctica política. La creación de cooperativas, bancos de semillas y redes solidarias representan una respuesta al modelo agro-industrial y una afirmación de autonomía. En términos de etnodesarrollo, las comunidades redefinen el progreso desde su cultura y territorio, articulando lo productivo con lo educativo y lo ecológico. Así, las ESCAMP configuran una pedagogía de la liberación territorial, donde el conocimiento se convierte en medio para ejercer soberanía sobre la tierra y la vida.

zes the epistemic plurality and autonomy of rural communities.

The ESCAMPs represent the overcoming of the coloniality of knowledge. Results show that educational processes based on practice and reflection allow the generation of situated science, in line with the philosophy of liberation (Dussel, 2015) and the epistemologies of the South (Santos, 2018).

The co-production of knowledge between university and community redefines university extension. The university becomes a companion and not a governing body; participatory action research is consolidated as a means of scientific and social validation of peasant knowledge.

The dialogue of knowledge strengthens ethnodevelopment and food sovereignty. Agroecological innovations, community organization, and intergenerational participation generate local capacities to decide on production, education, and territory; in short, a version of good living.

The ethical and political dimension of the dialogue of knowledge is inseparable from its educational dimension. The ESCAMPs demonstrate that learning is an act of recognition and liberation: educating to transform, transforming to live with dignity in the territory.

Acknowledgments

This work was made possible thanks to the collaborative efforts of the members of the Peasant Schools of Veracruz and Chiapas, as well as the academic and logistical support of the Universidad Autónoma Chapingo. We extend our gratitude to the rural communities, the participating women and youth, and the technical and teaching staff who shared their knowledge and experiences.

Conclusiones

El diálogo de saberes constituye el núcleo pedagógico y epistemológico de las Escuelas Campesinas. Lejos de ser una metodología auxiliar, es una forma de producir conocimiento colectivo que reconoce la pluralidad epistémica y la autonomía de las comunidades rurales.

Las ESCAMP constituyen la superación de la colonialidad del saber. Los resultados muestran que los procesos educativos basados en la práctica y la reflexión permiten generar ciencia situada, en coherencia con la filosofía de la liberación (Dussel, 2015) y las epistemologías del Sur (Santos, 2018).

La coproducción de conocimiento entre universidad y comunidad redefine la extensión universitaria. La universidad se convierte en acompañante y no en ente rector; la investigación-acción participativa se consolida como medio de validación científica y social del conocimiento campesino.

El diálogo de saberes fortalece el etnodesarrollo y la soberanía alimentaria. Las innovaciones agroecológicas, la organización comunitaria y la participación intergeneracional generan capacidades locales para decidir sobre la producción, la educación y el territorio, en síntesis, una versión del buen vivir.

La dimensión ética y política del diálogo de saberes es inseparable de su dimensión educativa. Las ESCAMP demuestran que aprender es un acto de reconocimiento y liberación: educar para transformar, transformar para vivir dignamente en el territorio.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó gracias a la colaboración solidaria de las y los integrantes de las Escuelas Campesinas de Veracruz y Chiapas, así como al acompañamiento académico y logístico de la Universidad Autónoma Chapingo. Se agradece a las comunidades rurales, a las mujeres y jóvenes participantes, y al personal técnico y docente que compartió sus saberes y experiencias.

End of English version

Fin de la versión en español

References / Referencias

- Altieri, M. A., & Toledo, V. M. (2011). The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies*, 38(3), 587–612.
- Dussel, E. (1998). *Ética de la liberación en la edad de la globalización y de la exclusión*. Trotta.
- Dussel, E. (2015). *Filosofías del Sur: descolonización y transmodernidad*. Akal.
- Fals-Borda, O. (1985). *Conocimiento y poder popular*. Siglo XXI.
- Freire, P. (1970). *Pedagogía del oprimido*. Siglo XXI.
- González S. M. V., & Aguilar A. J., (2010). Prefacio, en Mata G.B. [coordinador]. *VIII Encuentro Nacional de Escuelas Campesinas: Compartiendo agri culturas de la Huasteca Potosina*. (Memoria). Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Lozano T. A., Ordoñez S. J. & Mata, G. B., (2011). Las Escuelas Campesinas (ESCAMP) en México, una opción de Desarrollo Regional, ponencia presentada en el 16° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México, organizado por la Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A. C. (AMECIDER), realizado del 18 al 21 de octubre de 2011 en Xalapa, Veracruz, México.
- Lozano T. A., (2016). *Las Escuelas Campesinas (ESCAMP) en México: una opción de desarrollo regional*. En Aguilar Ávila, Jorge y Santoyo Cortés, Vinicio Horacio (2016). *Modelos alternativos de capacitación y extensión comunitaria*. Clave Editorial, México.
- Miles M. B., Huberman A. M., & Saldana J., 2014. *Análisis de datos cuantitativos. Un libro de consulta de métodos*. Sage. Londres
- Paredes, J. (2015). *Hilando fino desde el feminismo comunitario*. ACSUR Las Segovias.
- Quijano, A. (2000). Coloniality of power, eurocentrism and Latin America. *Nepantla: Views from South*, 1(3), 533–580.
- Santos, B. de S. (2018). *Epistemologies of the South: Justice against epistemicide*. Routledge.
- Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2010). La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. *Icaria*.
- Tzul-Tzul, G. (2021). *Sistemas comunales: autonomía y feminismo comunitario en Guatemala*. Akal.
- Walsh, C. (2009). *Interculturalidad, Estado, sociedad: luchas (de)coloniales de nuestra época*. Universidad Andina Simón Bolívar. Abya-Yala.