

ISSN: 2448-7368

# REVISTA DE GEOGRAFÍA AGRÍCOLA

estudios regionales de la agricultura mexicana



Dirección de Centros  
Regionales Universitarios

Número 74, enero-diciembre 2025.

# **REVISTA DE GEOGRAFÍA AGRÍCOLA**

**estudios regionales de la agricultura mexicana**

**74**      enero-abril 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, 15 de mayo 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  
*Exprofesor 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

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**

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

Fernando Gonzalez Sosa, Julia Aurora Montano Rivas, Edgar Williams García Sosa

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

Luis Javier Legarreta-Sosa, Francisco García-Fernández, Martín Alfredo Legarreta-González

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

Carlos Alejandro Custodio González, Tania Margarita Ortiz Salazar, Cinthia Ruiz López, Justino Gerardo González Díaz

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

Jose Zavala Alvarez, Jorge Alejandro Martínez Partida, Gloria Muñoz del Real, Carlos Federico Rosales Guerrero

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

Anahy Guadalupe Romero Mena, Wilian Aguilar Cordero, Javier Solorio Sánchez, Luis Ramírez Avilés

**Land use change and fragmentation in the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas**

Adriana Paredes Gonzalez, Luz Judith Rodríguez Esparza, Valentín José Reyes Hernández, Patricia Hernández-de la Rosa, Alejandro Velázquez Martínez, Luis Antonio Tarango-Arámbula



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

Fernando González Sosa<sup>1\*</sup>

Julia Aurora Montano Rivas<sup>2</sup>

Edgar Williams García Sosa<sup>3</sup>

## 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 stakeholders 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 inefficientes 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.

<sup>1</sup>Universidad Anáhuac Veracruz, Constitución núm. 4, colonia Chilitoyac, municipio de Xalapa, Veracruz. México.

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

<sup>3</sup>Instituto 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 synergias 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 transporte, 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 Izmen (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 está 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 Izmen (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, live-stock, 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 absorbiva, 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 absorbiva (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 km<sup>2</sup>, the State of Hidalgo achieved a production of 6 767 t of meat with land use of rain-fed agriculture for 6 930 km<sup>2</sup>. 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 traspaso 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 km<sup>2</sup>, el Estado de Hidalgo logró una producción de 6 767 t de carne con uso de suelo de agricultura de temporal por 6 930 km<sup>2</sup>, 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  $LQi$  is the lacation coefficient of the employed category,  $zi$  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  $i^{\text{th}}$ ; 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 DENUE (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 & Rabellot, 2005); Turrini et al. (2010); (Otsuka & Sonobe, 2011).

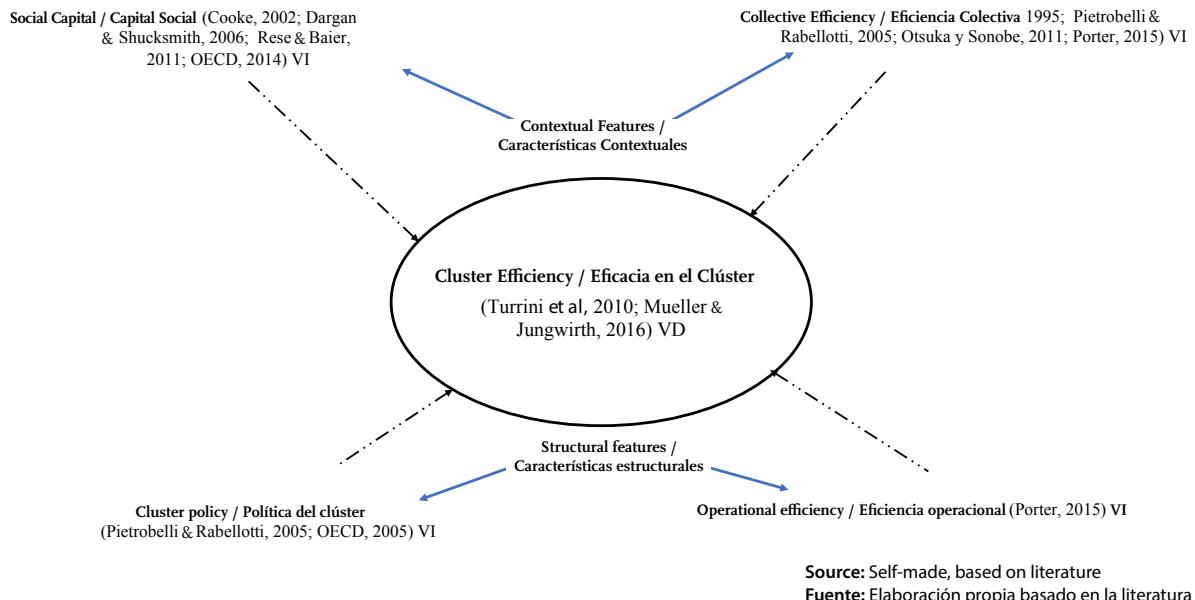
In the previous illustration, the dependent variable is mentioned as the output function of its determinants. The empirical model used obtained the

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  $LQi$  es el coeficiente de localización de la categoría empleada,  $zi$  es el número de empleados en una región de medición,  $Zi$  es el número total de empleados en la región de medición,  $e_i$  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  $i^{\text{th}}$ ;  $e_{ij}$  es el número de empleo para la industria  $j$  en la región  $i^{\text{th}}$ ; y  $e_i$  es el número total de empleo en la región  $i^{\text{th}}$ , 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 DENUE (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:

$$\sum EFII_i = f(di_i, ndc_i, vc_i, ee_i, ac_i, ep_i, pro_i, in_i)$$

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:

$$\sum EFII_i = f(di_i, ndc_i, vc_i, ee_i, ac_i, ep_i, pro_i, in_i)$$

this determinant includes the relationship between suppliers and customers, and considered to be a predictor of success in the business relationships of livestock 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 livestock 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  $\chi^2$  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 & Rabellotti, 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 significante 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 eficiencia, 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 estableces 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); (Díaz & 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

ciones 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 desperdiaciado 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  $\chi^2$  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 canó- nica 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 <sub>6</sub>	"ease of getting trained em- ployees" / "facilidad de conse- guir empleados capacitados" 0.7143083Y <sub>1</sub>
Social Capital vs Cluster Policy / Capital Social vs Política del Clúster	"collaborative learning" / "aprendizaje colaborativo" 0.6912138X <sub>9</sub>	"business objectives" / "objetivos empresariales" 0.8476429Y <sub>1</sub>
Social Capital vs Operacional Efficiency / Capital Social vs Eficien- cia Operacional	"collaborative learning" / "aprendizaje colaborativo" 0.6912138X <sub>9</sub>	"consumer satisfaction" / "satisfacción de los consumidores", - 0.6535094Y <sub>4</sub>
Collective Efficiency vs Cluster Policy/ Eficiencia Colectiva vs Política del Clúster	"collaborative learning" / "aprendizaje colaborativo" 0.8563321X <sub>9</sub>	"employee training and educa- tion" / "capacitación y educación para los empleados" 0.6114207Y <sub>3</sub>
Collective Efficiency vs Operacional Efficiency / Eficiencia Colectiva vs Eficiencia Operacional	"cooperation and negotiation level" / "nivel de cooperación y negociación" 0.8563321X <sub>9</sub>	"product price" / "precio del producto" 0.3277884Y <sub>3</sub>
Cluster Policy vs Operacional Efficiency / Política del clúster vs Eficiencia Operacional	"livestock grower's planning policy" / "pla- neación política del productor" -0.7714549+0iX <sub>10</sub>	"product price" / "precio del producto" 0.5776016Y <sub>5</sub>

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 combinational, 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 combinacionales 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 ítem 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-

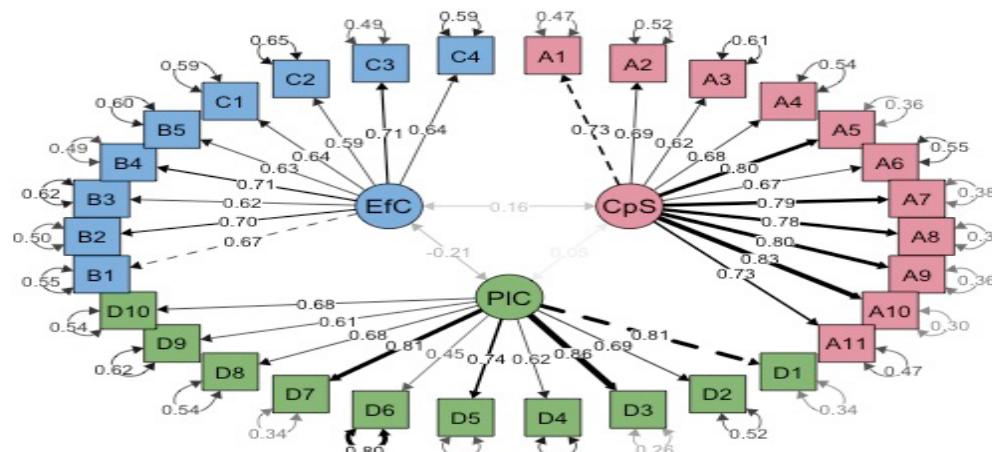
valores moderadamente altos y fueron clasificados en cuatro categorías, alta ( $> 0.75$ ); moderada (0.50-0.75); baja (0.25-0.50) y débil ( $< 0.25$ ) Cuadro 3.

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 paramters 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 abble to give a measurement metric to the 3 unobsevable 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 detemined by the variables such as Social Capital (CpS), Cluster Policy (Plc) and Collective Efficiency (EfC), as demonstrated by the canonical correlations, the exploratory factoe analysis and the confirmatory factor analysis, figure three represnets the proposed model.

The summaries of the AFC, were that the chi-squared  $\chi^2$  had a value of 470,2, the discrepancy statistic between  $\chi^2$  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  $\chi^2$  tuvo un valor de 470,2, el estadístico discrepancia entre  $\chi^2$  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 ovinocultores, incluyendo también que las acciones que cada ovinocultor 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/201701RegionalCompetitiveness2016.pdf](https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/work/201701RegionalCompetitiveness2016.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](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 eficiencia, 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>
- Dobusch, L., & Schüssler, 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/rcc.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., Hebllich, 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*. (6<sup>a</sup> 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/IJARBSS/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/rnlael019283>
- 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>
- Rese, 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/siapi/documentos/siacon-ng-161430>
- SP OVINOS. (2023). (SAGARPA, Ed.) Obtenido de PLAN RECTOR SISTEMA PRODUCTO OVINOS 2015-2024:<https://suresureste.org.mx/wp-content/uploads/2022/08/Plan-Rector-Nacional-del-Sistema-Producto-Ovinos-2016-1.pdf>
- Terziowski, 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>
- Turri, 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>
- USDOJ. (2023). Antitrust Division U.S Department of Justice. Obtenido de <https://www.justice.gov/atr/herfindahl-hirschman-index>
- Zeibote, Z., & Muravská, 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-Sosa<sup>1</sup>  
Francisco García-Fernández<sup>2\*</sup>  
Martín Alfredo Legarreta-González<sup>3,4</sup>

## 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.

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

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

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

<sup>4</sup>University of Makeni (UniMak), Posgraduate 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 brasileño 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 fértilles, 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  $IL^k > 1$ , the country is a net exporter of the studied good; If  $IL^k < 1$ , 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 & Athanasopoulos (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 accord-

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  $\Omega$  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  $\mu$  for all  $t$ . It seems that, since  $x(t)$  for each  $t \in T$  provides information about the ensemble mean,  $\mu$ , it may be possible to estimate  $\mu$  from a single realization. An ergodic process is one for which the set means, such as  $\mu$ , 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  $X$ .

Recordemos que una variable aleatoria,  $Y$ , es una función definida en un espacio muestral  $\Omega$  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 denominará  $\{x(t); t \in T\}$ . Como antes, a veces utilizaremos la notación  $\{X(t)\}$ , o simplemente  $x(t)$  en el caso de parámetros continuos y  $\{x_i\}$  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 denota  $E[X(t)] = \mu(t)$ . 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  $\mu$  para todo  $t$ . Parece que, dado que  $x(t)$  para cada  $t \in T$  proporciona información sobre la media del conjunto,  $\mu$ , puede ser posible estimar  $\mu$  a partir de una única realización. Un proceso ergódico es aquel para el que las medias del conjunto, como  $\mu$ , 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 assumido 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  $\epsilon_t$  denotes white noise. Reordering this, the "paseo aleatorio" o "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 interesarán 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

$X_i + 1 - X_{i-1} = \epsilon_i + 1$   
donde  $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots$  es una secuencia de variables aleatorias centradas y no correlacionadas.

Reordenando

$X_i + 1 + \epsilon_{i-1}$   
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  $c$  es 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  $\epsilon_t$  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

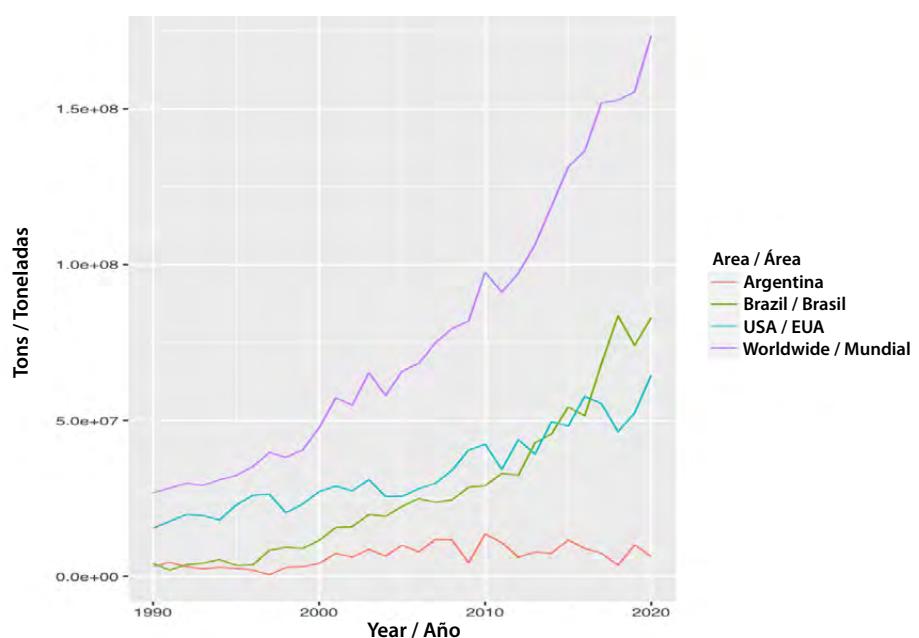
$$y_t = c + y_{t-1} + \epsilon_t$$

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: Autors' 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

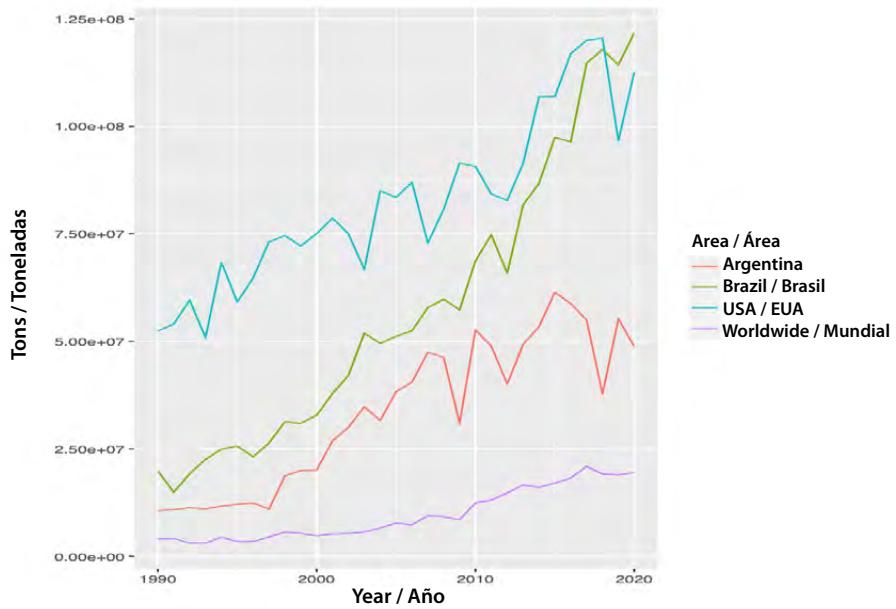
## Resultados

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.**

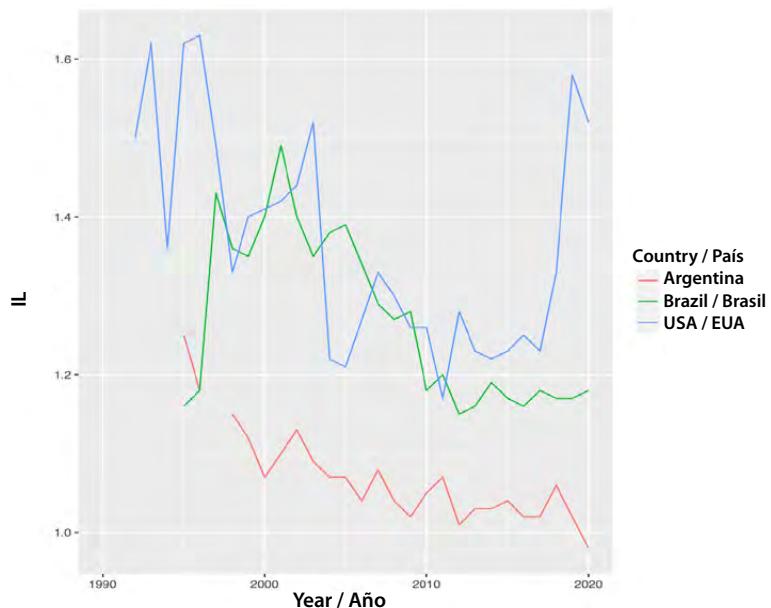


Source: Authors' self-made, based on FAO (2022) data.

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.**

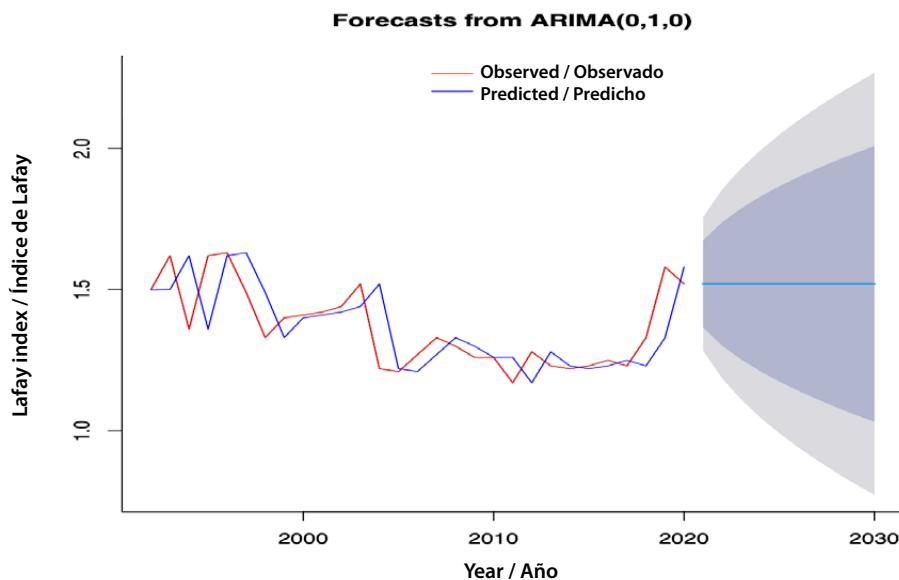
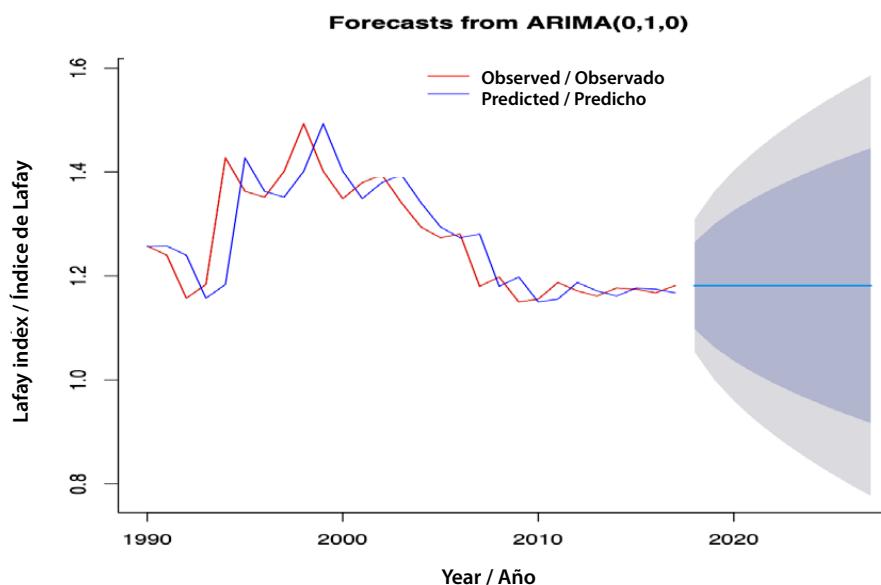


Figure: Authors' self-made.

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 Indice 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).

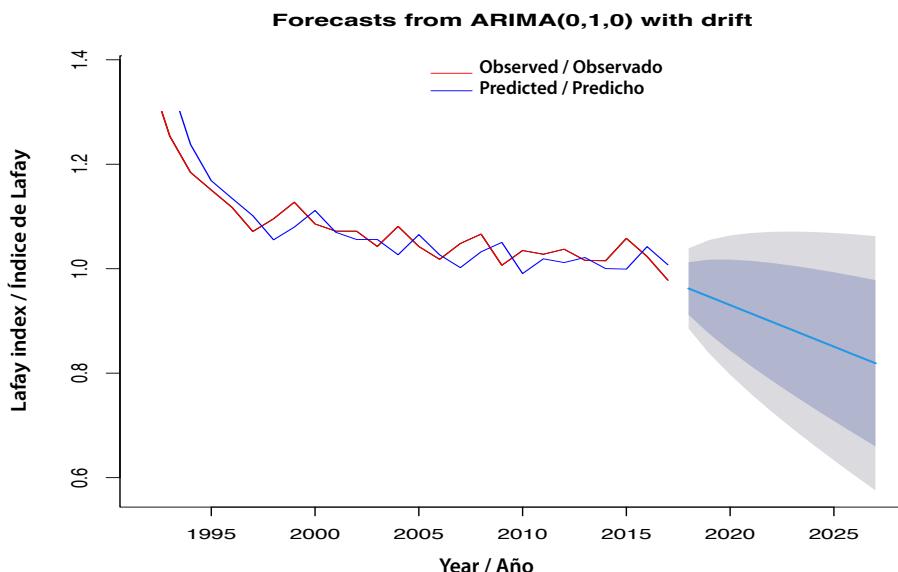
nacional. A pesar de estas fluctuaciones, Estados Unidos sigue siendo un actor clave en el comercio global de la soya, gracias a su capacidad para adaptarse a los cambios en la demanda internacional y mantener su productividad a través de la innovación tecnológica y la expansión de mercados alternativos.

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 soya, 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/ecr/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](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.ciiie.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 Sociología 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 soya 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](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, Paris. Disponible en: [https://doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2017-es](https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-es)
- que la soya se consolide como un producto estratégico en su perfil agrícola exportador.
- Una observación relevante es que la mayor parte de las exportaciones de soya de estos países está dirigida a China, que hoy es el mayor importador de soya 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 soya 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 soya 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 soya.
- 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 soya 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](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](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<sup>1\*</sup>

Tania Margarita Ortiz Salazar<sup>2</sup>

Cinthia Ruiz López<sup>3</sup>

Justino Gerardo González Díaz<sup>4</sup>

## 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.

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

<sup>2</sup>Cusal Consultores. México.

<sup>3</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, México.

<sup>4</sup>Universidad 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 (Velázquez 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 rururban. 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 (Velázquez 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 & Ribardière, 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 & Ribardière, 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 ( $\beta$ ), 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, socio-economic 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 Sellero, 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  $j$  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.

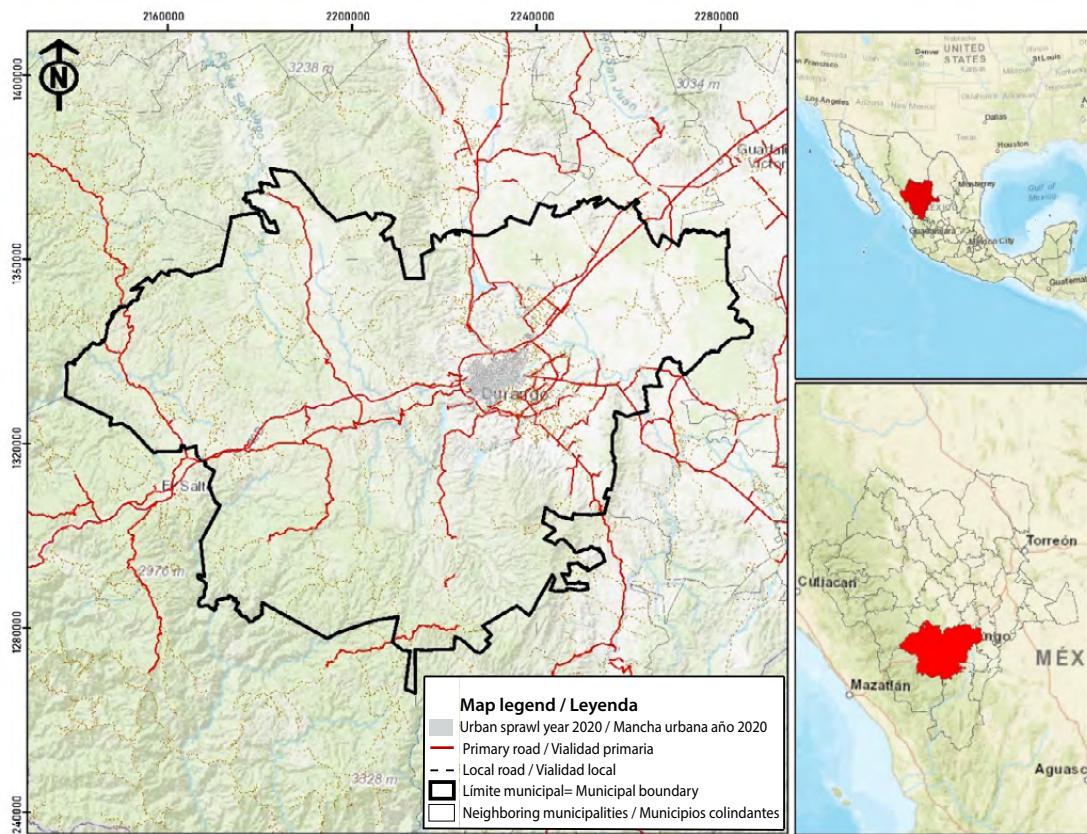
La cuarta fase metodológica caracterizó la red vial del área rural-urbana de Durango, clave para comprender la configuración territorial y su funcionalidad económica (Martínez et al., 2014). Se analizaron dos atributos: conectividad y accesibilidad. El Índice beta ( $\beta$ ), definido como el número 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 Sellero, 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 Geoestadístico 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 Papasquiaro.

### 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

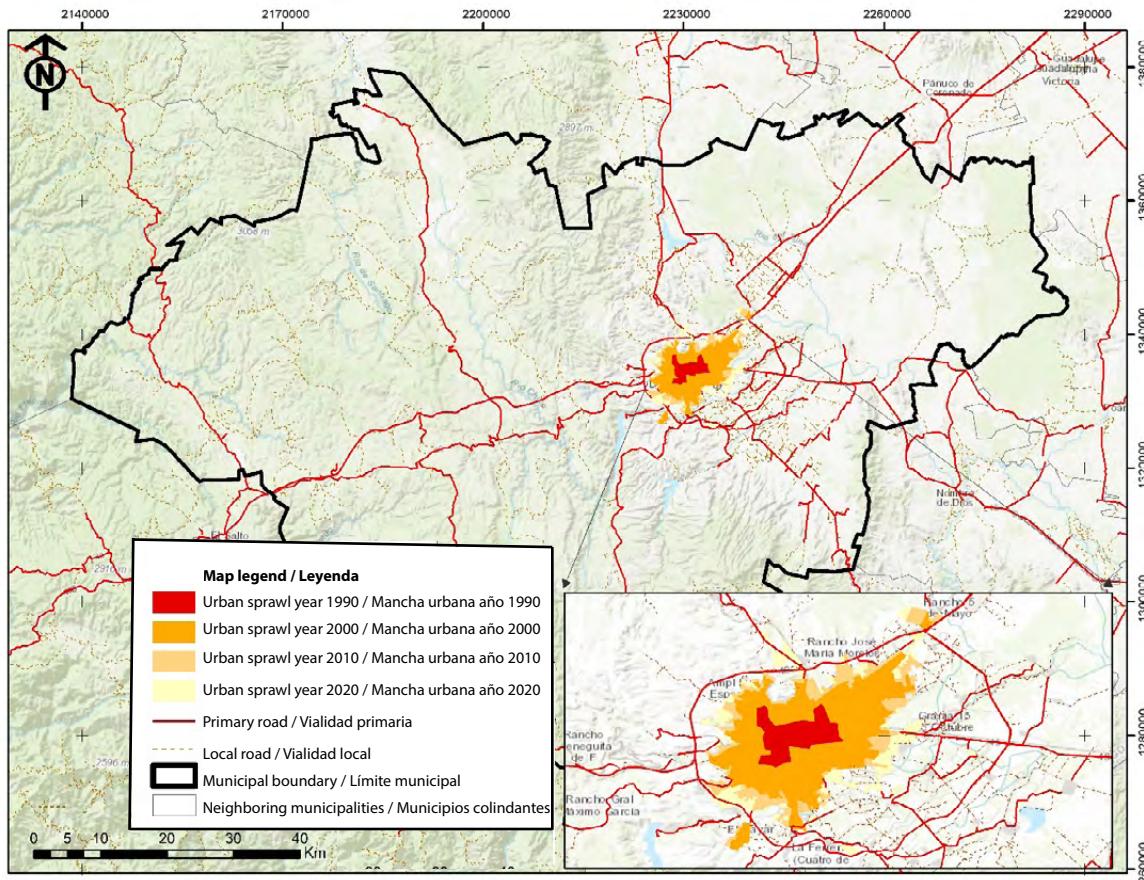
cia más altos, se generó un mapa temático del gradiente utilizando IDW (Inverse Distance Weighting), una técnica de interpolación empleada en Sistemas de Información Geográfica.

## 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 Papasquiaro.

**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.**



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*

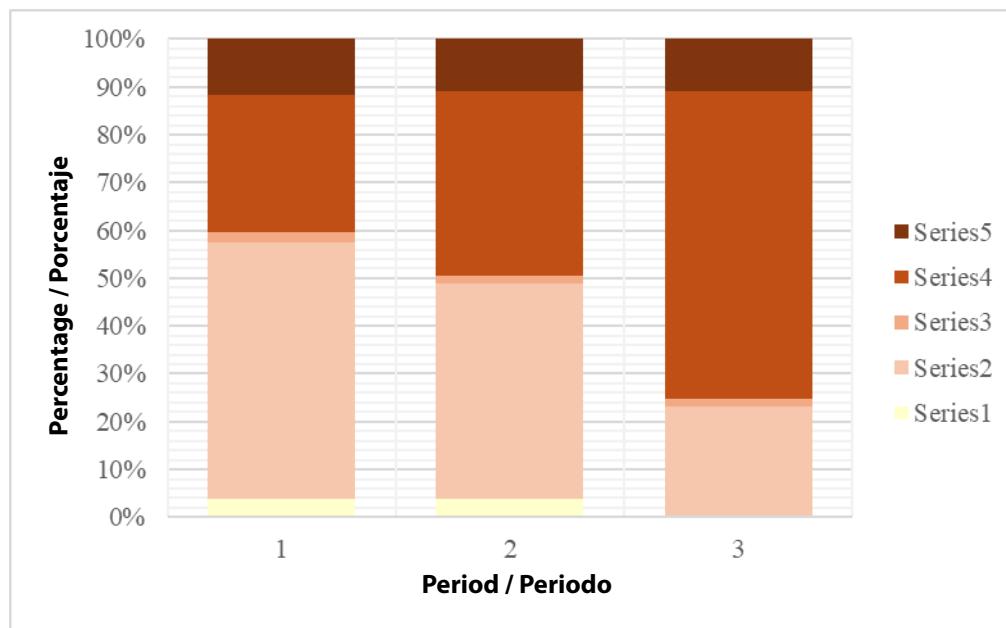
La expansión urbana de Durango ha incrementado en 10 606 hectáreas en los últimos 30 años, representando un crecimiento del 8.8 % respecto a la superficie urbana del año base. Este aumento no ha sido constante, identificándose tres períodos distintos: de 1990 a 2000, hubo el mayor aumento con una tasa 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

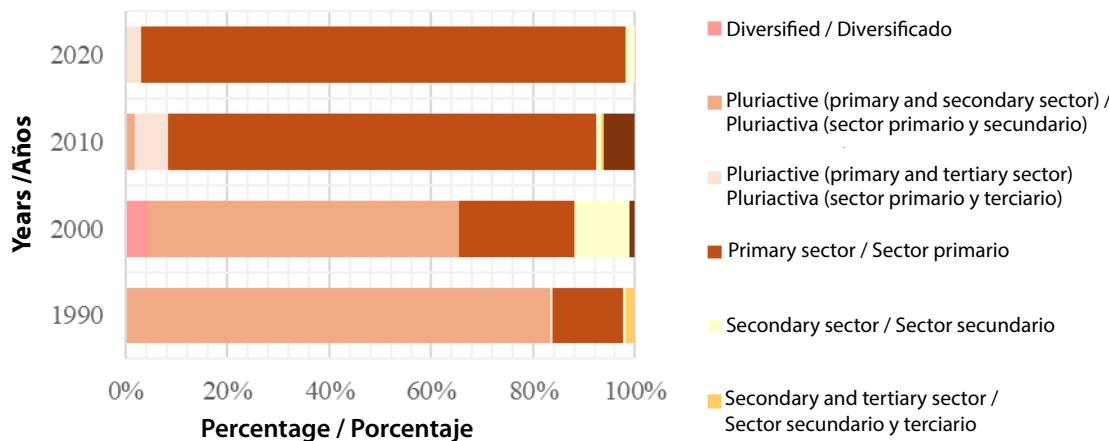
el 1.73 % en los últimos 30 años, superando el 1.32 % registrado a nivel nacional en el mismo período. Sin embargo, la evolución demográfica muestra patrones diferenciados que se agrupan en cuatro categorías: 1) reducción considerable (mayor al -1.00 %), 2) disminución leve (de -0.001 a -0.65 %), 3) 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 ( $\beta$ ) 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

the structure 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 / Nivel de accesibilidad	Number of locations by category / Número de localidades por categoría	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 ( $\beta$ ) 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	Accumulated / Explicada 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
	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
Socioeconomic dynamics / Dinámica socioeconómica	Medium connectivity / Conectividad media	-0.99	0.58
	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
	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
Connectivity degree / Grado de conectividad	SD	-0.75	-0.05
	Medium accessibility / Accesibilidad media	-0.89	0.56
	High accessibility / Alta accesibilidad	-0.42	0.37
	Low accessibility / Baja accesibilidad	0.70	-0.06
Accessibility degree / Muy alta accesibilidad	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

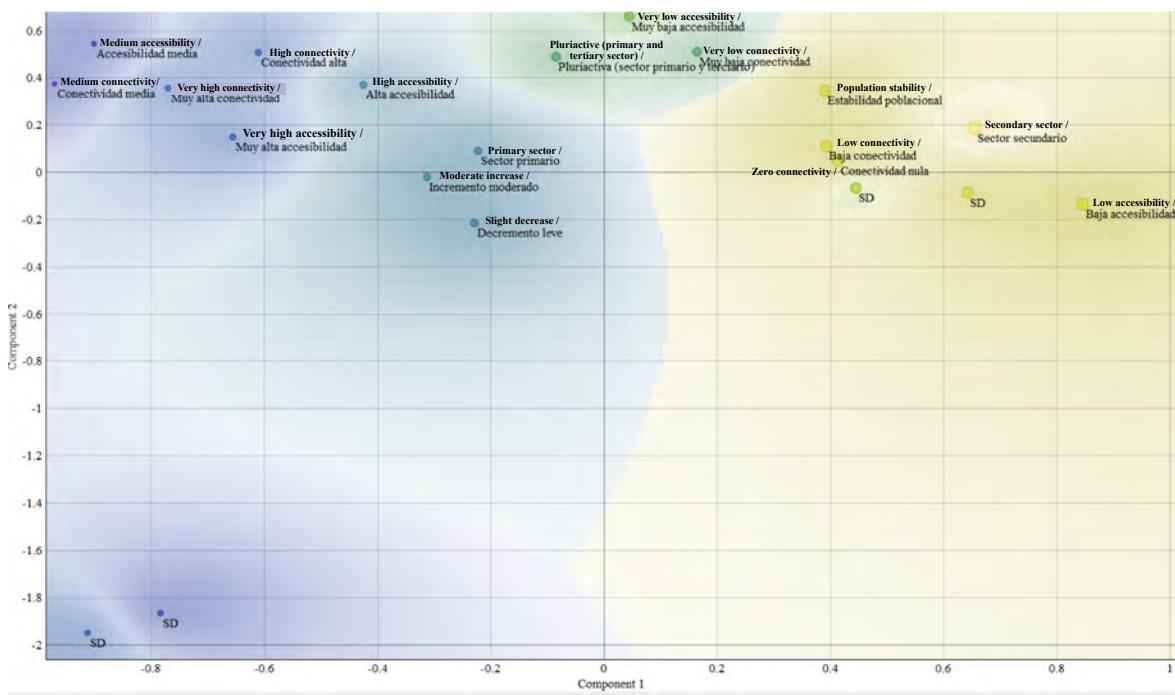
y ubican en la periferia lejana, lo que limita su potencial de movilidad.

*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-

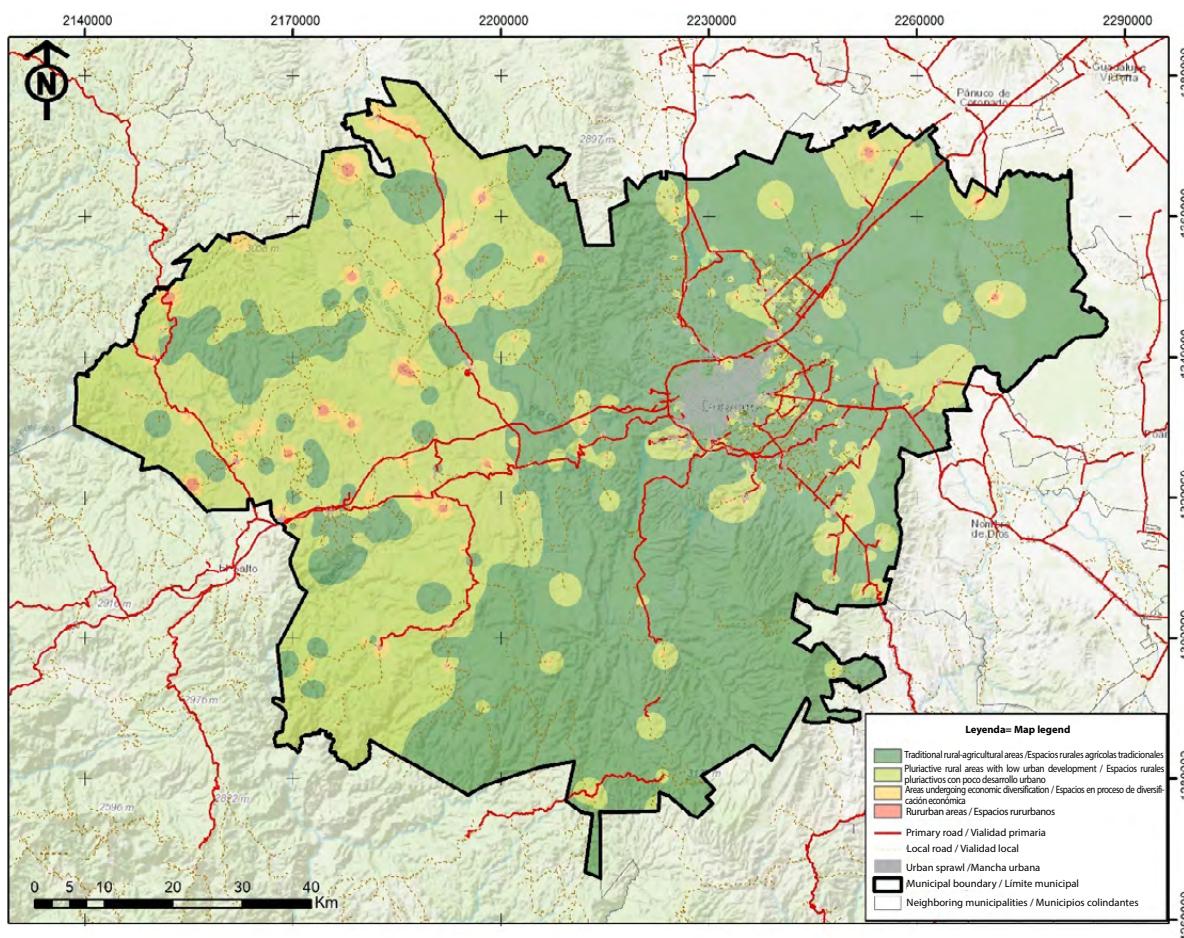
la tabla de distribución, considerando un nivel de significancia de 0.05. Asimismo, se observa que el modelo organiza las variables en dos dimensiones, siendo la primera la que concentra la mayor inercia y explica la mayor parte de la variabilidad del modelo.

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. Gradiante 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 Papasquiaro 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 Papasquiaro 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 (Buitelar 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 multiscalar 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, replazándolo 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 ruraldad, 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/relnmecs\\_v06n01a03Artigo](https://www.relmecs.fahce.unlp.edu.ar/article/view/relnmecs_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., & Mohammod, 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., Padisák, 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., & Riff 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 desagrariación y la desigualdad social. Revista Austral de Ciencias Sociales, 38, 191-211. <https://doi.org/10.4206/rev.austral.cienc.soc.2020.n38-10>
- rales próximos a la ciudad de Durango, México" con clave 20241694, el cual recibió financiamiento por parte del Instituto Politécnico Nacional a través del Programa de Proyectos de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico.
- 
- Fin de la versión en español*
- 

- 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](http://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 Biala 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/>

- 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., & Ribardière. (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](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](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<sup>1\*</sup>  
Jorge Alejandro Martínez Partida<sup>2</sup>  
Gloria Muñoz del Real<sup>3</sup>  
Carlos Federico Rosales Guerrero<sup>4</sup>

## 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 acompaña 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.

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

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

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

<sup>4</sup>Red 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

fornia 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 sostienen 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 establecimientos 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

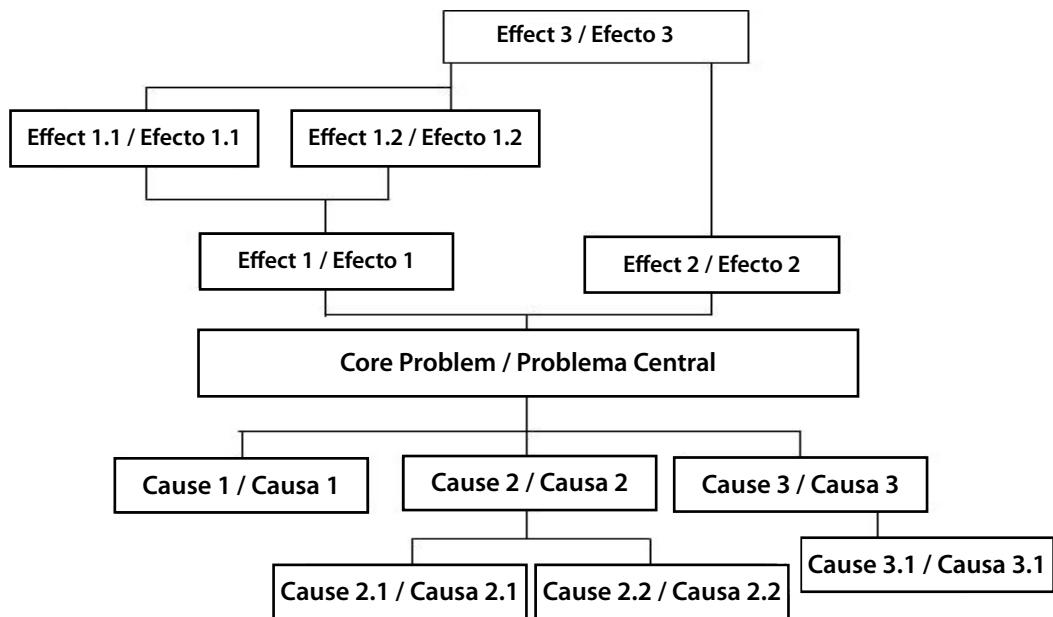
poniéndose y los productores resultan afectados en la rentabilidad. Sin embargo, es necesario desagregar, identificar y conceptualizar el problema para comprenderlo y construir opciones que signifiquen rutas favorables para el desarrollo de la producción y abasto de lácteos en el estado. Así, con procedimiento 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, disagregar 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.**

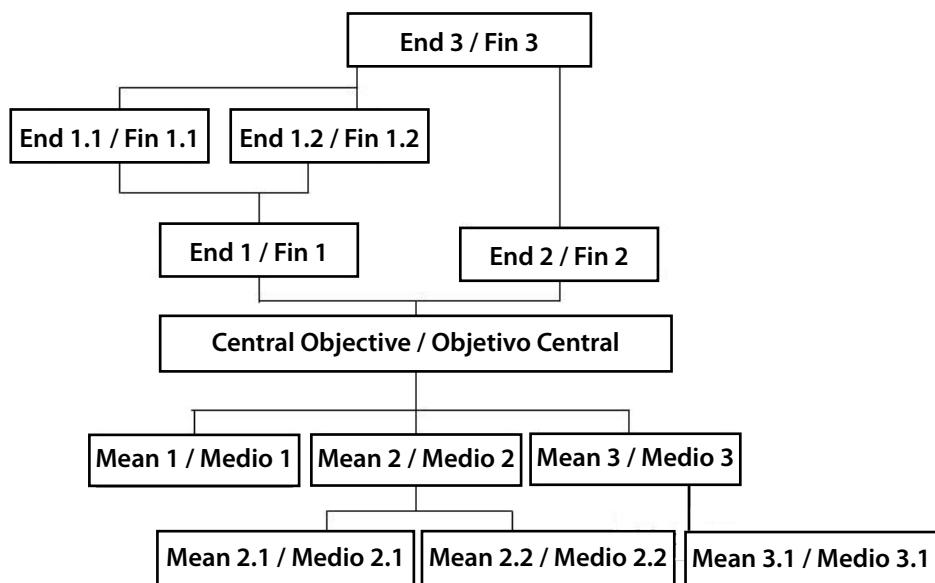
**Figura 1. Árbol de causas y efectos.**



**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, espacialmente 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 formaran 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.

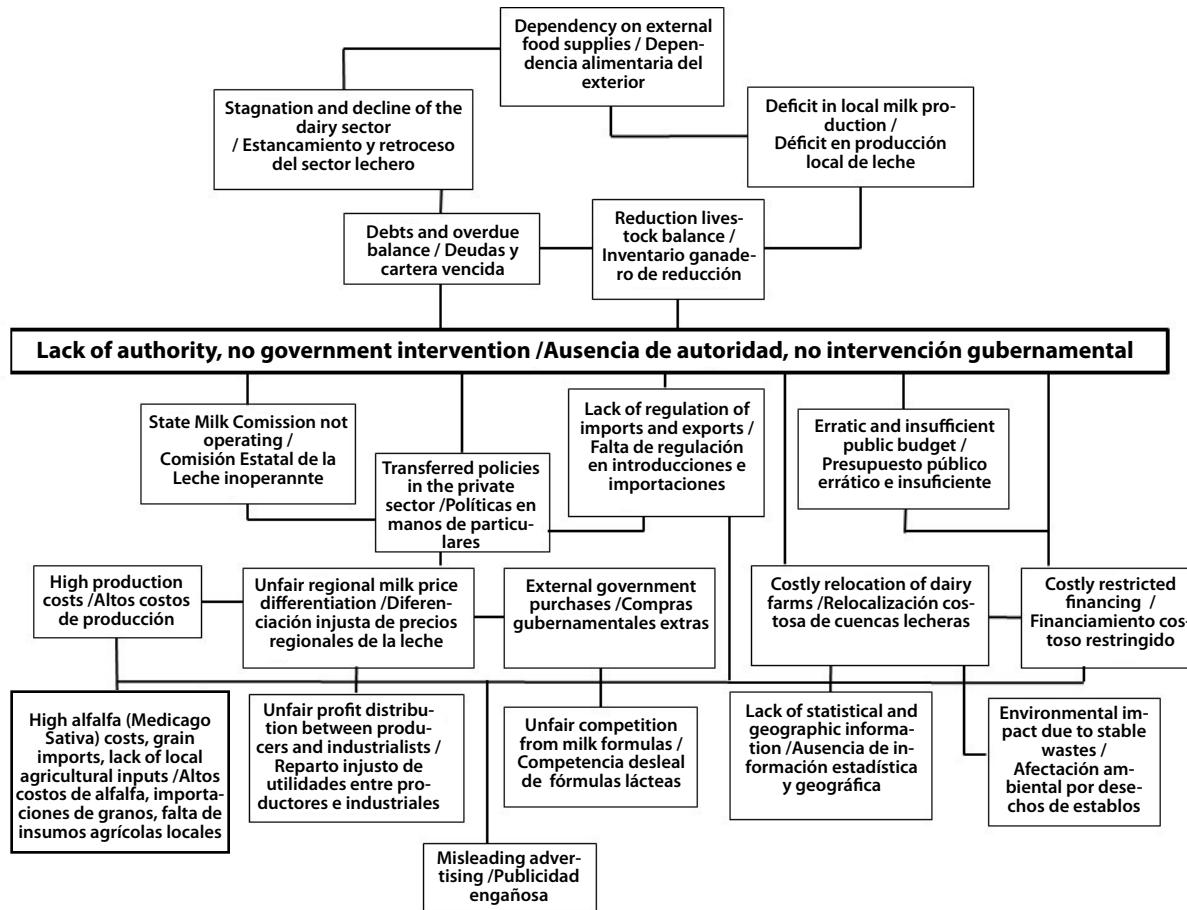
multiple causes that can explain the problem and the effects that derived from it; b) in terms of analysis, it is recommended that from an initial brainstorming session, establish what is, in the opinion of the group of analysts, the central problem affecting the analyzed community. Here, the criteria 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)<sup>1</sup>.  
Fuente: Elaboración a partir de datos de SICEC (2014), UNILEON (2014), LactoData (2014), SE (2012), AGLPLT (2013). (Comunicación personal, Barona, agosto 17, 2013)<sup>1</sup>.

**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 (Gue-rerro 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 %.

<sup>1</sup>Fernando Barona, producer of the Local Livestock Association of Milk Producers of Tijuana.

<sup>1</sup>Fernando 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 2005-2013Cuadro  
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 tenía 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 diarios, 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 sostienen 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 individuals 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 [GEBC], 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 (GEBC, 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*

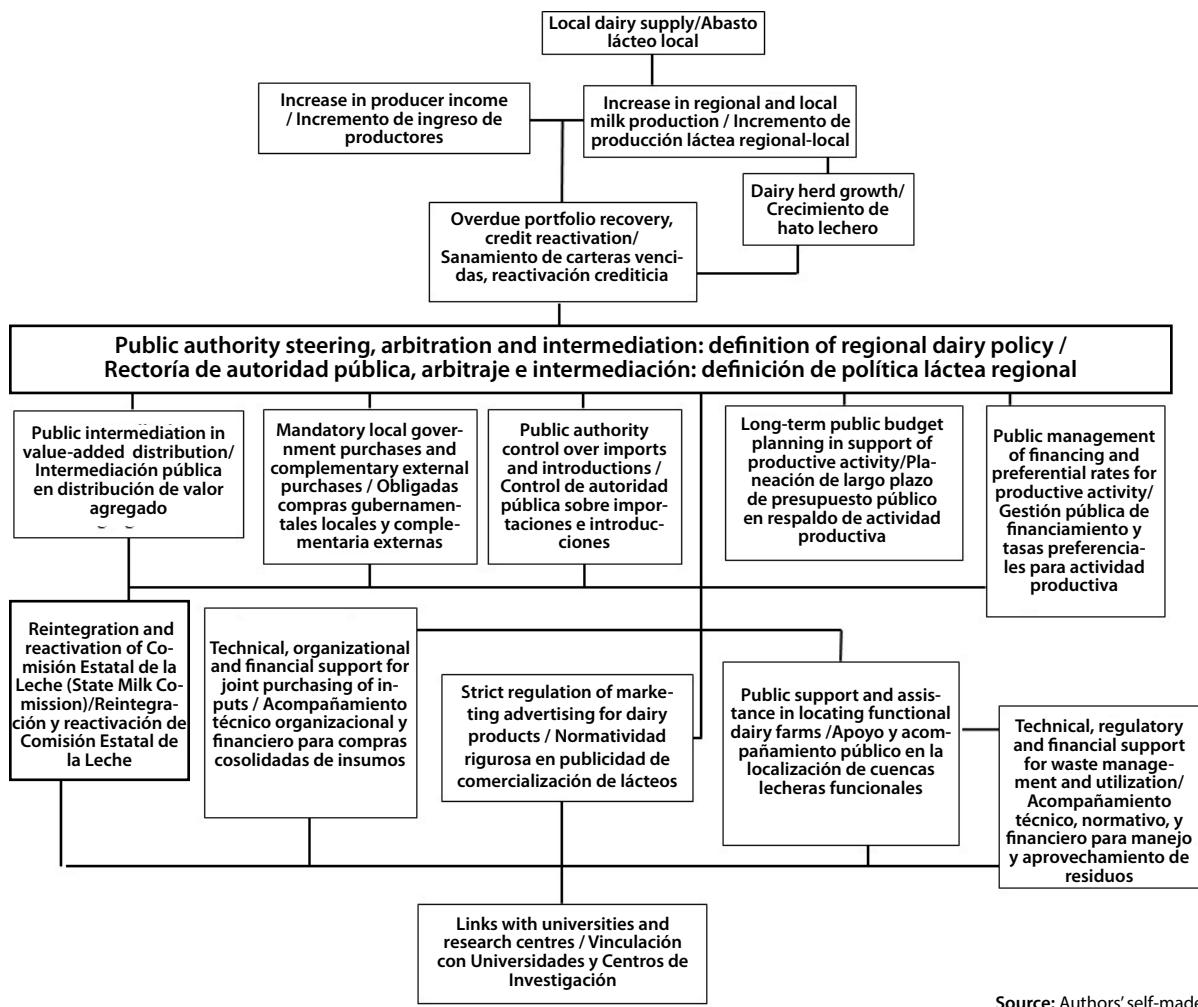
Desde la perspectiva de los productores (Comunicación personal, Barona, 17 de agosto de 2013; AG-PLT, 2013) el papel de la SEFOA ha sido omiso en actividades que requerían la obligada intervención normativa de la autoridad. No intervención o deficiente intervención de instancias de autoridad gubernamental 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 constatarse 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, 2013<sup>2</sup>; 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

<sup>2</sup>Arturo 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 SEFOA (GEBC, 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 2013<sup>2</sup>; 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.

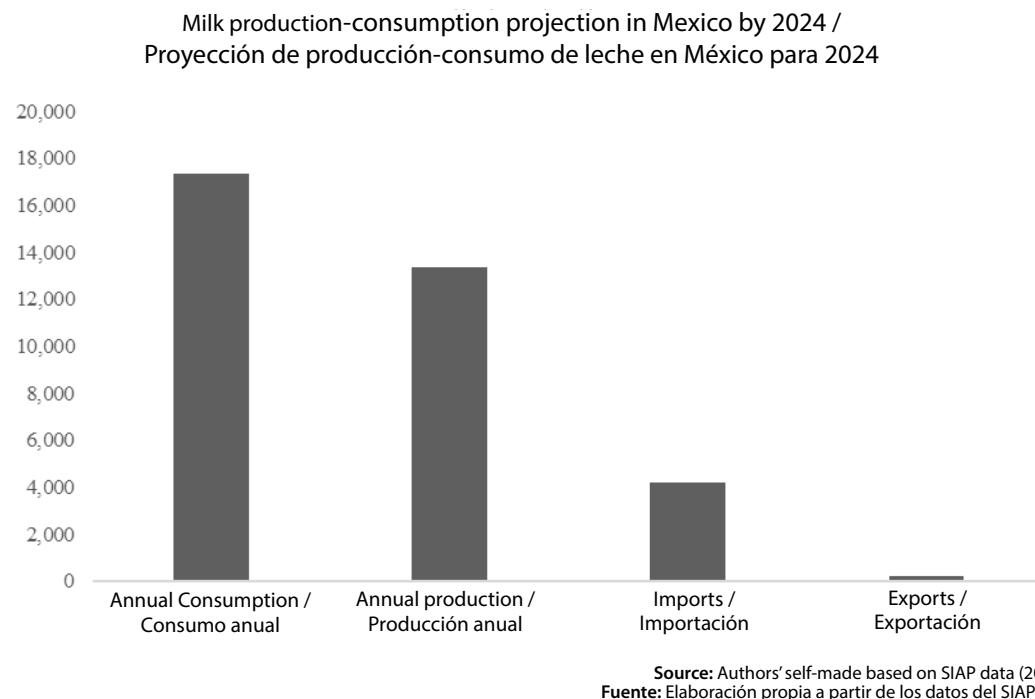
Tanto ganaderos como industriales locales coinciden en calificar al papel de las instancias de gobierno como gravemente ausentes. A pesar de tener atribuciones sus intervenciones y los recursos aplicados al sector son severamente insuficientes para el propósito de desarrollo y fortalecimiento. El diseño, 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-

<sup>2</sup> 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**



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 (Ml), cifra que supera a la producción anual que es de 13 594 Ml, esto es, una diferencia de 3 917 Ml. La demanda faltante se cubrirá prácticamente con la importación de 4 149 Ml, 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 (Femeleche 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 maelstrom 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=Y292ZXJQYWdI Ozl2Nz-cxMTM1NztBUzoxNjYyNzYxMzk4NTU4NzJA-MTQxNjY1NDcyOTA4Mg%3D%3D&el=1\\_x\\_2&esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/267711357_Elaboracion_analisis_e_interpretacion_de_encuestas_cuestionarios_y_escalas_de_opinion?enrichId=rgreq-4af9902f68655dc6b1b044ef7e3ad5de-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdI Ozl2Nz-cxMTM1NztBUzoxNjYyNzYxMzk4NTU4NzJA-MTQxNjY1NDcyOTA4Mg%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%2Cn%2C%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 traspaso, 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](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](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://wsextbc.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://wsextbc.ebajacalifornia.gob.mx/CdnBc/api/Imagenes/ObtenerImagenDeSistema?sistemaSolicitante=PeriodicoOficial/1994/Enero&nombreArchivo=Periodico-4-Cl-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/133375-el-aumento-a-la-leche-fue-el-costo-menor.html>
- llevar a cabo para mejorar su rentabilidad, es imprescindible que el gobierno, en sus 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*
-

- 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](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](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](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=0CGsQFjAI0B4&url=http%3A%2F%2Fwww3.unileon.es%2Fce%2Ffve%2FTITULACIONES%2FVETERINARIA%2Fmaterialdidactico%2Flechedevaca.xls&ei=RC5UU6DmKoKryAT274CYDg&usg=AFQjCNEi7TGxYb104UQ9WIuy6Twdb0M3lw&sig2=sp8ootLPCnJV190YLpYG4w>
- Villareal González, J. R., Aguilar Valdés, A., & Luévanos 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 Mena<sup>1</sup>

Wilian de Jesús Aguilar Cordero<sup>2\*</sup>

Javier Solorio Sánchez<sup>3</sup>

Luis Ramírez Avilés<sup>3</sup>

## 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

<sup>1</sup>Instituto de Desarrollo Regional y Municipal, C. 16 x 15, Chocholá, México.

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

<sup>3</sup>Universidad 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 silvopastoril (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, Mocochá, Oxfutzcab, 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**

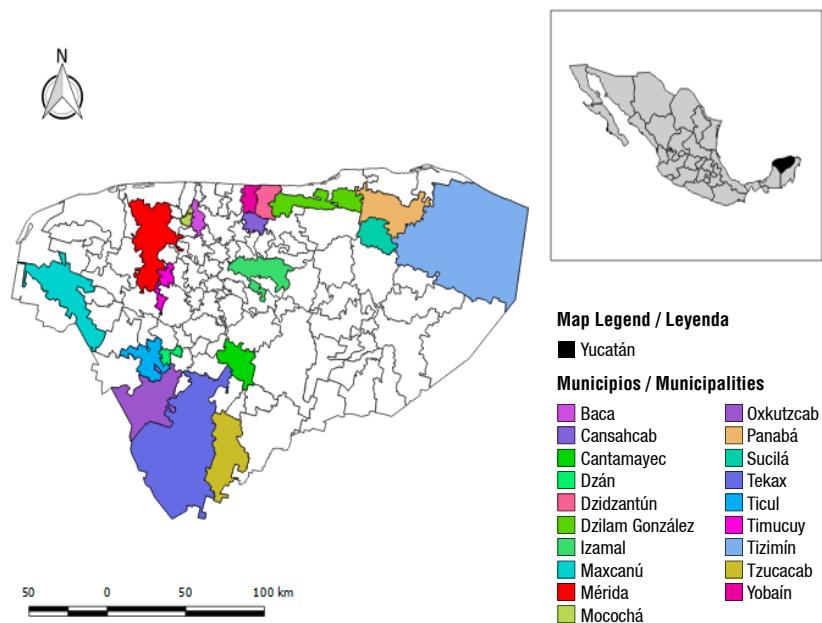
### **Área de estudio**

**Los ganaderos que trabajan con los SSP se encuentran ubicados en 19 municipios:** Baca, Cansahcab, Cantamayec, Dzán, Dzidzantún, Dzilam González, Izamal, Maxcanú, Mérida, Mocochá, Oxfutzcab, 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 encuestadas 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 silvopastoril 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 les 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.

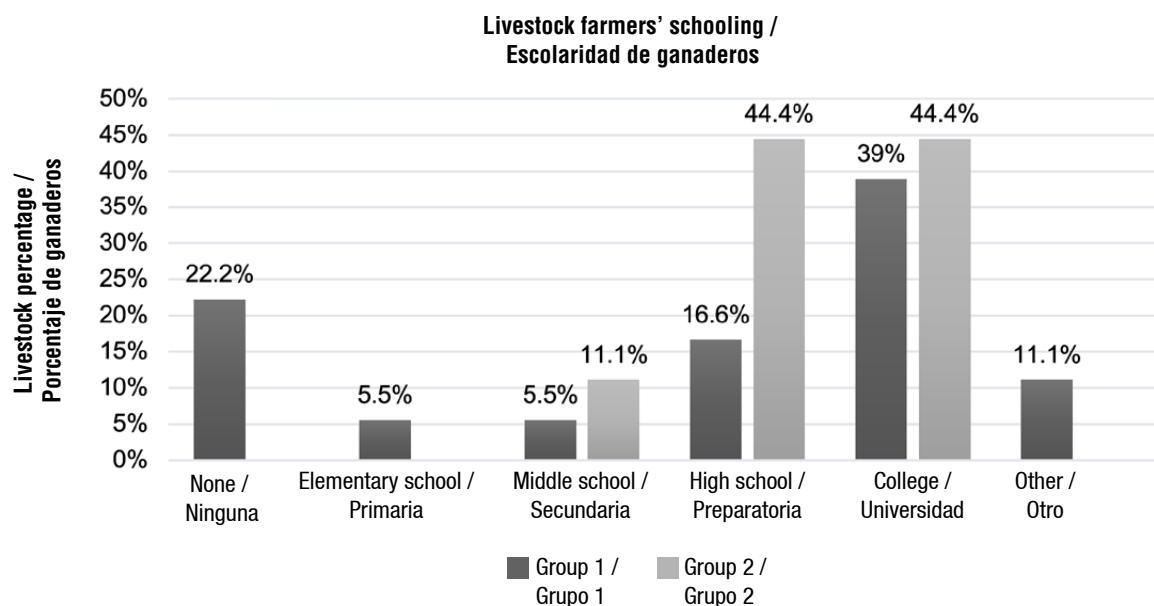
**Interest in learning about and participating in silvopastoral systems.** In group 1, 100% indicated having participated in workshops to learn about and implement these systems, they traveled to the state of Michoacan to learn more about the design

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, indicaron que el 100 % de los ganaderos, 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).

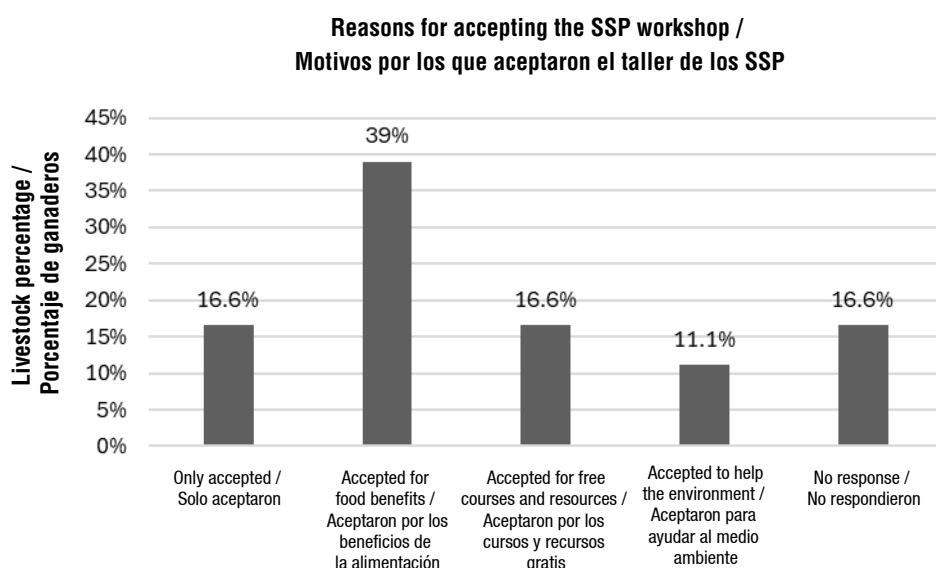
In group 1, although they did not participate in the workshops, 83% of livestock farmers think that silvopastoral systems are a good strategy to diversify, increase and improve the availability of forage for grazing animals, especially in drought seasons when there is a shortage of pasture. In addition, 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).

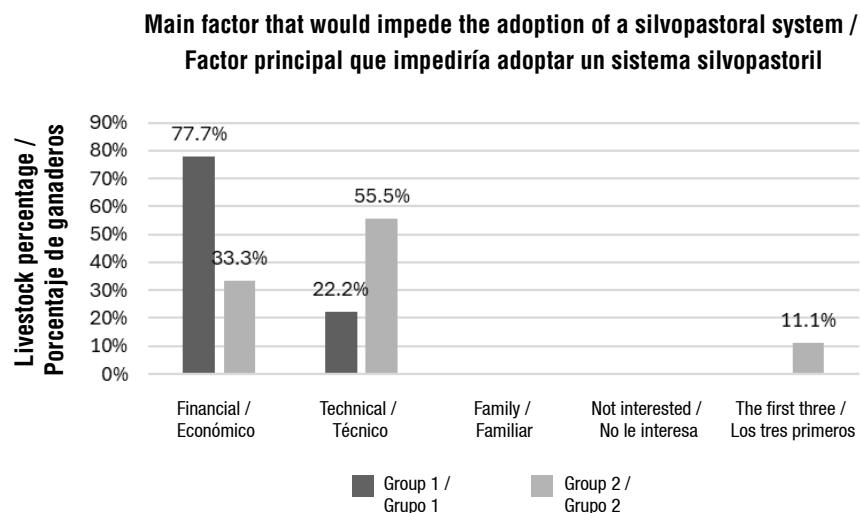
In group 2, 44.4% indicate that it is due to high costs, another 44.4% to a lack of financial resources for investment, and the remaining 11.11% indi-

sistemas 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.

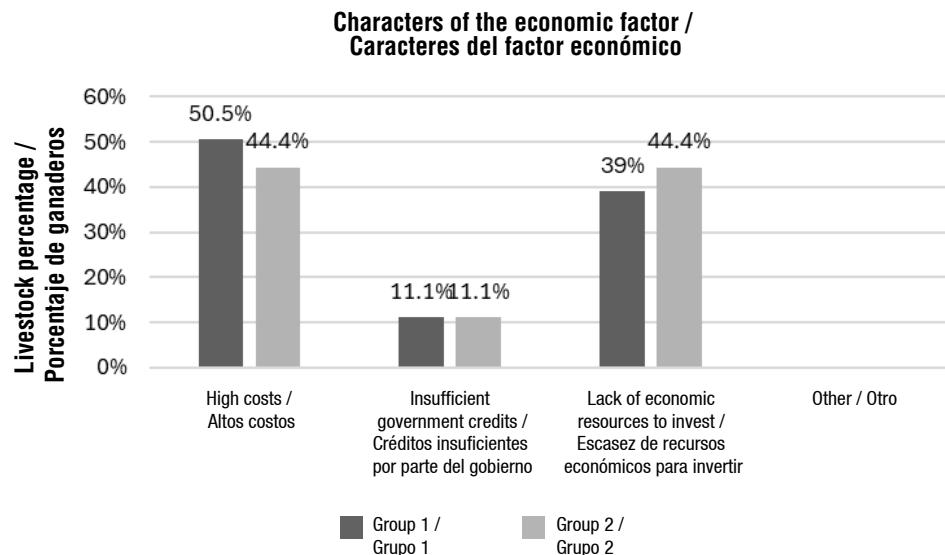
En el grupo 2, el 100 % de los ganaderos menciona que están interesados en tomar talleres para aprender acerca de los sistemas silvopastoriles. Únicamente el 50 % sabe de los beneficios que aportan estos sistemas, el otro 50 % no tiene idea de lo que estos sistemas los pueden beneficiar.

**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]."*

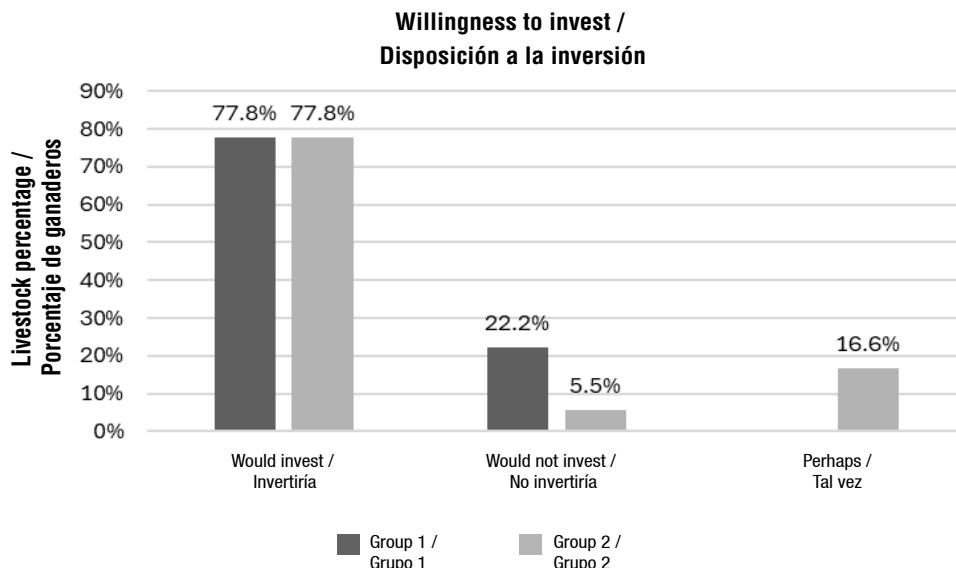
Regarding the technical reason for adoption, 50% of farmers consider that the main difficulty is the waiting time for the establishment of the system, 22.2% consider that the information about the SSPs is insufficient, 5.5% consider that this is due to the lack of workshops on the subject, another 22.2% say

considera la razón principal para la adopción de un sistema silvopastoril 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.

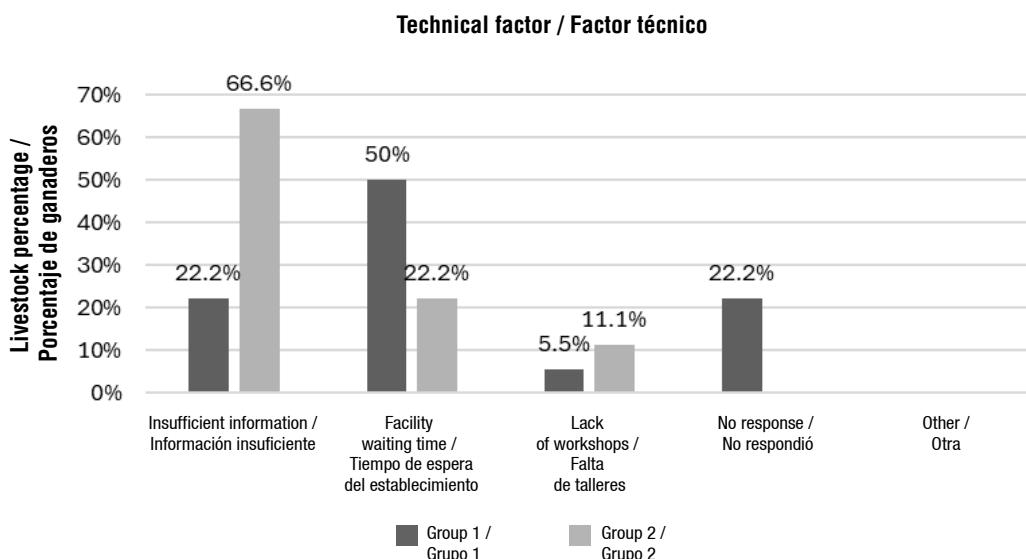
In group 1, all of farmers interviewed indicated that silvopastoral systems can be a useful strategy for the state of Yucatan, since there are no large areas of grassland in the state, so livestock farming constantly try to convert natural areas or forest into grassland without getting positive long-term 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 silvopastoril 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 1y2.**

*"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 silvopastoril 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-

cual provoca erosión y pérdida de nutrientes del suelo, por lo que el sistema silvopastoril evita las pérdidas y genera mejor y mayor cantidad de alimento para los animales, durante la sequía habría alimento suficiente, además, ayuda en la mitigación de gases de efecto invernadero que dañan el medio ambiente.

## Discusión

Jara et al. (2020) afirman que la adopción de las tecnologías agrícolas es compleja, ya que se encuentra condicionado por factores sociales, económicos, financieros y naturales, los resultados confirmarán esta característica. Los ganaderos mencionan que los factores antes mencionados se involucran en la adopción de las innovaciones tecnológicas como los SSP's, el proceso de implementación de un SSP's implica el manejo y la selección adecuada de especies de plantaciones de árboles y arbustos, así como el control del pastizal y el uso de la sincronización del sistema.

En el aspecto económico, se manifestó a partir de la respuesta de los productores a la ausencia del apoyo financiero institucional y la escasez de los recursos que poseen los productores para solventar las erogaciones en la implementación de los SSP's, situación que ocurre en el ámbito general y ha restringido la adopción (Ibrahim et al., 2001; Suárez, 2006; Cancino et al., 2016).

La edad de los ganaderos tiene una influencia determinante en la adopción de las innovaciones agropecuarias. En ese sentido, el grupo 1, se caracterizó por poseer mayor edad, es sabido que los adultos de edad avanzada son más reticentes en la adopción de innovaciones a pesar de la información, talleres y recursos brindados en primera instancia, en contraste del grupo 2, los ganaderos se encuentran en una edad de los 27 a los 54 años y en las respuestas que proporcionan se observa mayor interés por adoptar e implementar los sistemas (Cancino et al., 2016; D'Souza et al., 1993). Sin embargo, Cancino et al. (2016), afirma que los más jóvenes presentan poco interés por el campo. Sin embargo, los resultados de la encuesta muestran que los jóvenes desean saber más sobre los SSP's. En el primer grupo, el 22 % de los ganaderos abandonó el sistema silvopastoril, indicando que el trabajo de dar mantenimiento a los potreros era bastante y pesado para ellos, ya que tenían que podar árboles, hacer potreros, plan-

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 silvopastoril, 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 periodo 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/didascalia/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](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., Perticari 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. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Colegio de Posgraduados.



# Land use change and fragmentation in the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas

Adriana Paredes-González<sup>1</sup>

Luz Judith Rodríguez-Esparza<sup>2\*</sup>

Valentín José Reyes-Hernández<sup>1</sup>

Patricia Hernández-de la Rosa<sup>1</sup>

Alejandro Velázquez-Martínez<sup>1</sup>

Luis Antonio Tarango-Arámbula<sup>3</sup>

## 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 biosfera 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.

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Postgrado 12 en Ciencias Forestales. Carretera México-Texcoco, km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56264.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Aguascalientes, Investigadora por México Conahcyt- Depto. de Matemáticas y Física. Av. Universidad núm. 940, C.U., Aguascalientes, Ags. México. C.P. 20131.

<sup>3</sup>Colegio 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 aislan 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, Acatlán, 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).

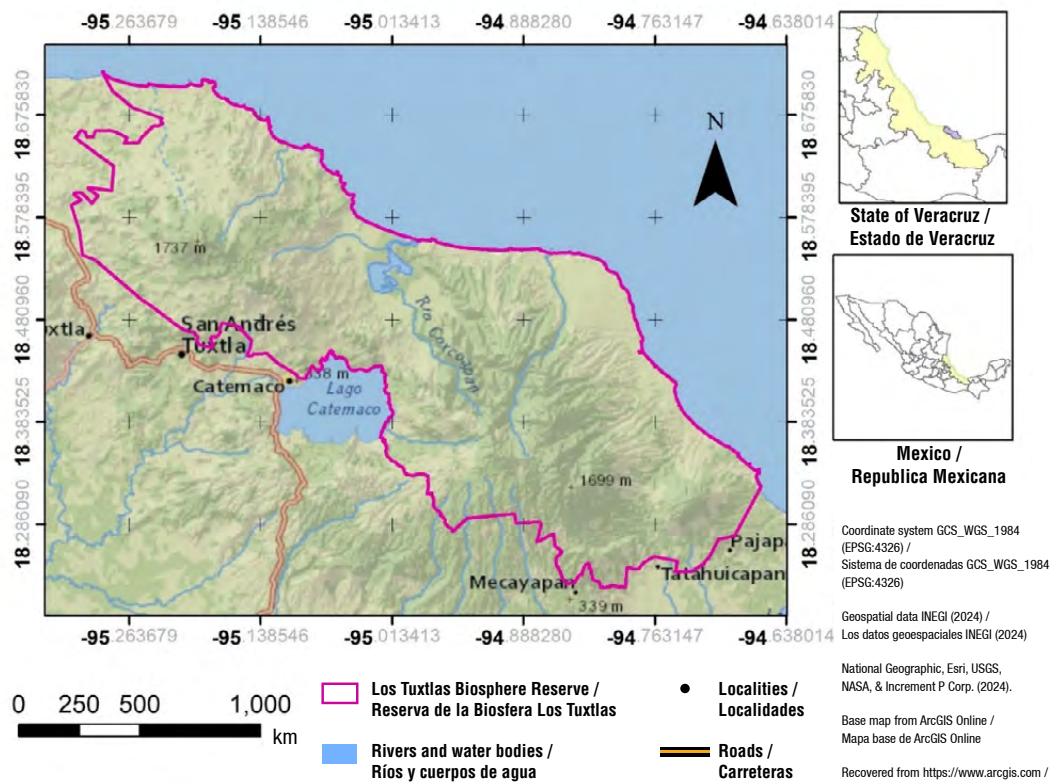
## Método

### Área de estudio

La Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (RBLT) tiene una extensión de 155 122.46 ha. Esta ANP se localiza al sureste 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, Acatlán, 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 % acahuil, 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 m<sup>2</sup>, 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 m<sup>2</sup>, 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. Despues 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 (Purwani 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 (Purwani 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 Márkov 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 períodos 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 markovchain 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

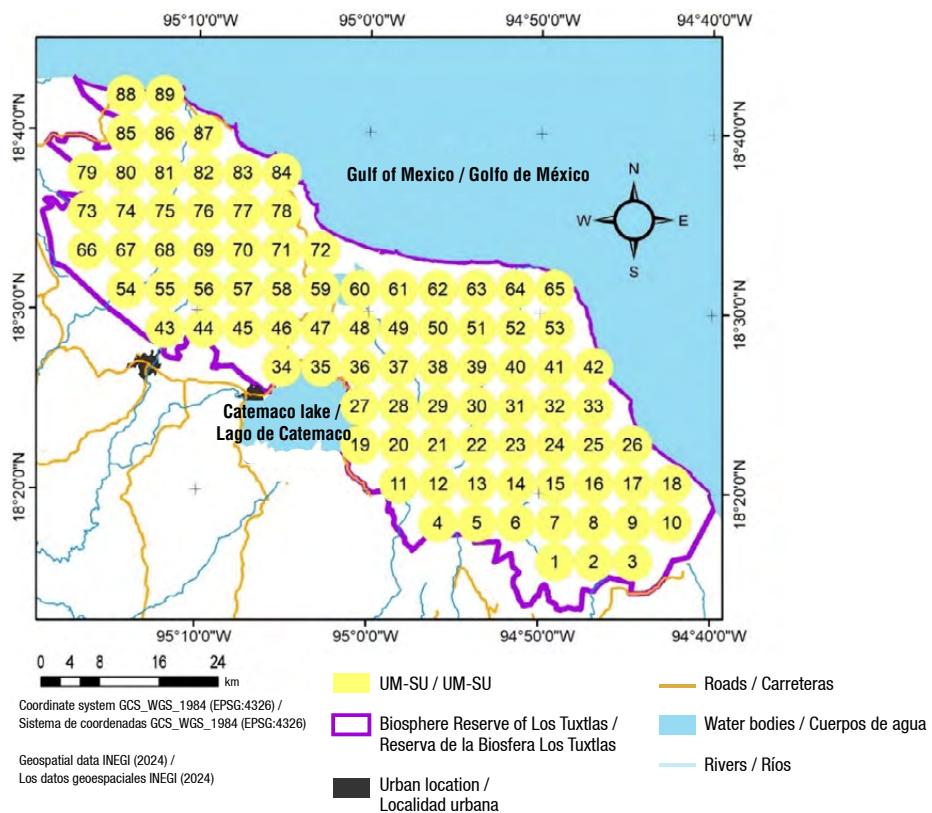
**Table 3. Initial state of the Markov chain in the Biosphere Reserve of Los Tuxtlas**  
**Cuadro 3. Estado inicial de la cadena de Markov en la RBLT**

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 euclídea 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 RBLT 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  $-0.19 \% \cdot \text{yr}^{-1}$ . In contrast, the grassland-agricultural area increased, showing a change rate of  $0.23 \% \cdot \text{yr}^{-1}$ , 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 ( $S_n = 0.28 \% \cdot \text{yr}^{-1}$ ), indicating a recovery of 5 879 ha during that period. It is ob-

## Resultados

### Cambio de uso de suelo y vegetación

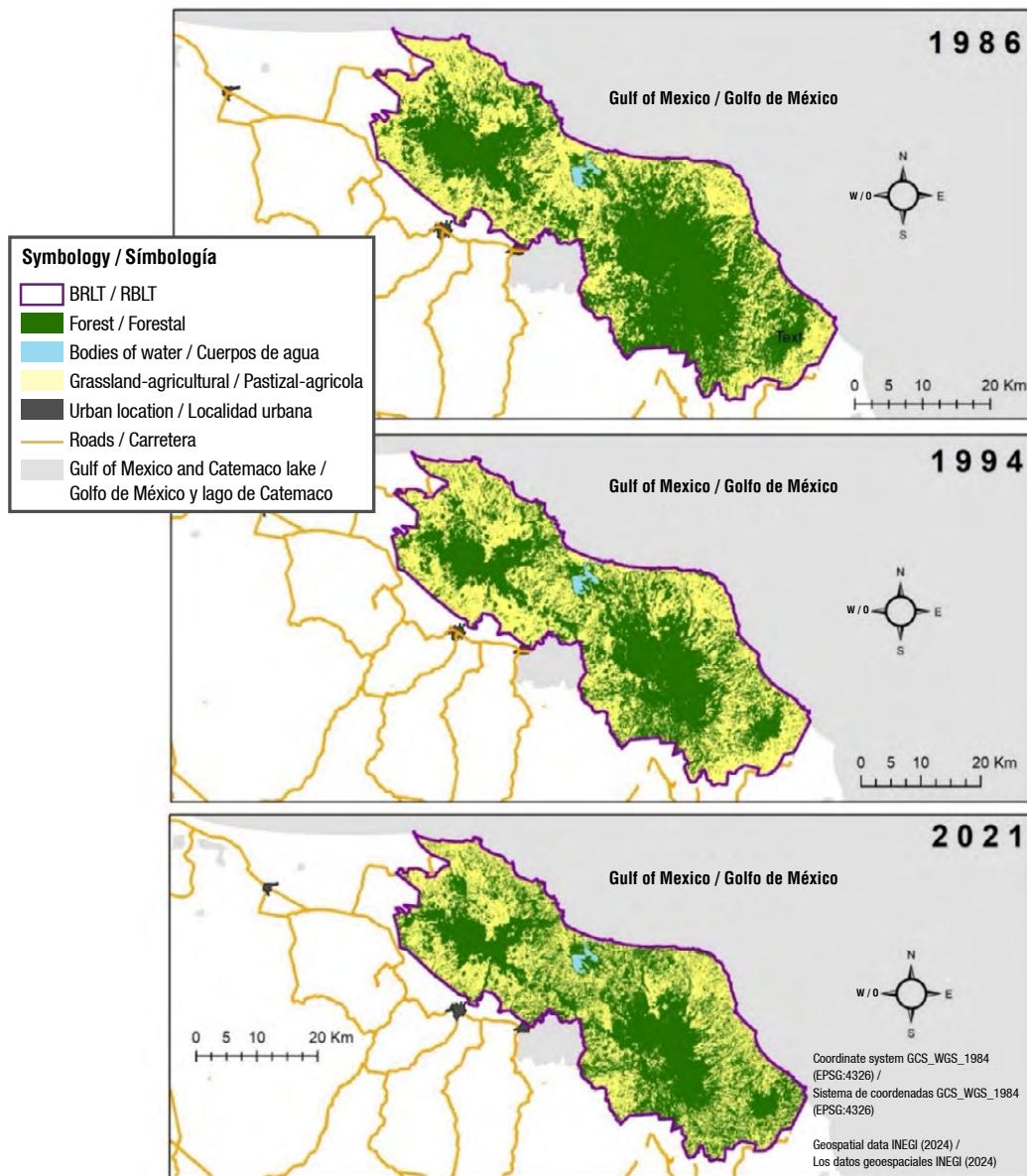
La composición del uso de suelo y vegetación en la RBLT fue la siguiente: en 1986, el 55.77 % correspondía a cobertura forestal, el 43.53 % a pastizal-agrícola y el 0.70 % a cuerpos de agua. Para 1994, la cobertura forestal se redujo al 48.26 %, mientras que el pastizal-agrícola aumentó al 51.13 %, y 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  $-0.19 \% \cdot \text{año}^{-1}$ . Paralelamente, la superficie de pastizal-agrícola presentó un incremento con una tasa de cambio de  $0.23 \% \cdot \text{año}^{-1}$ , 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  $-1.79\% \cdot \text{año}^{-1}$ , mientras que la clase pastizal-agrícola presentó un incremento con  $S_n = 2.03\% \cdot \text{año}^{-1}$ . Por otro lado, entre 1994 y 2021, la tasa de cambio de la cobertura forestal fue positiva ( $S_n = 0.28\% \cdot \text{año}^{-1}$ ), lo que indica una recuperación de 5 879 ha en dicho período. 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**

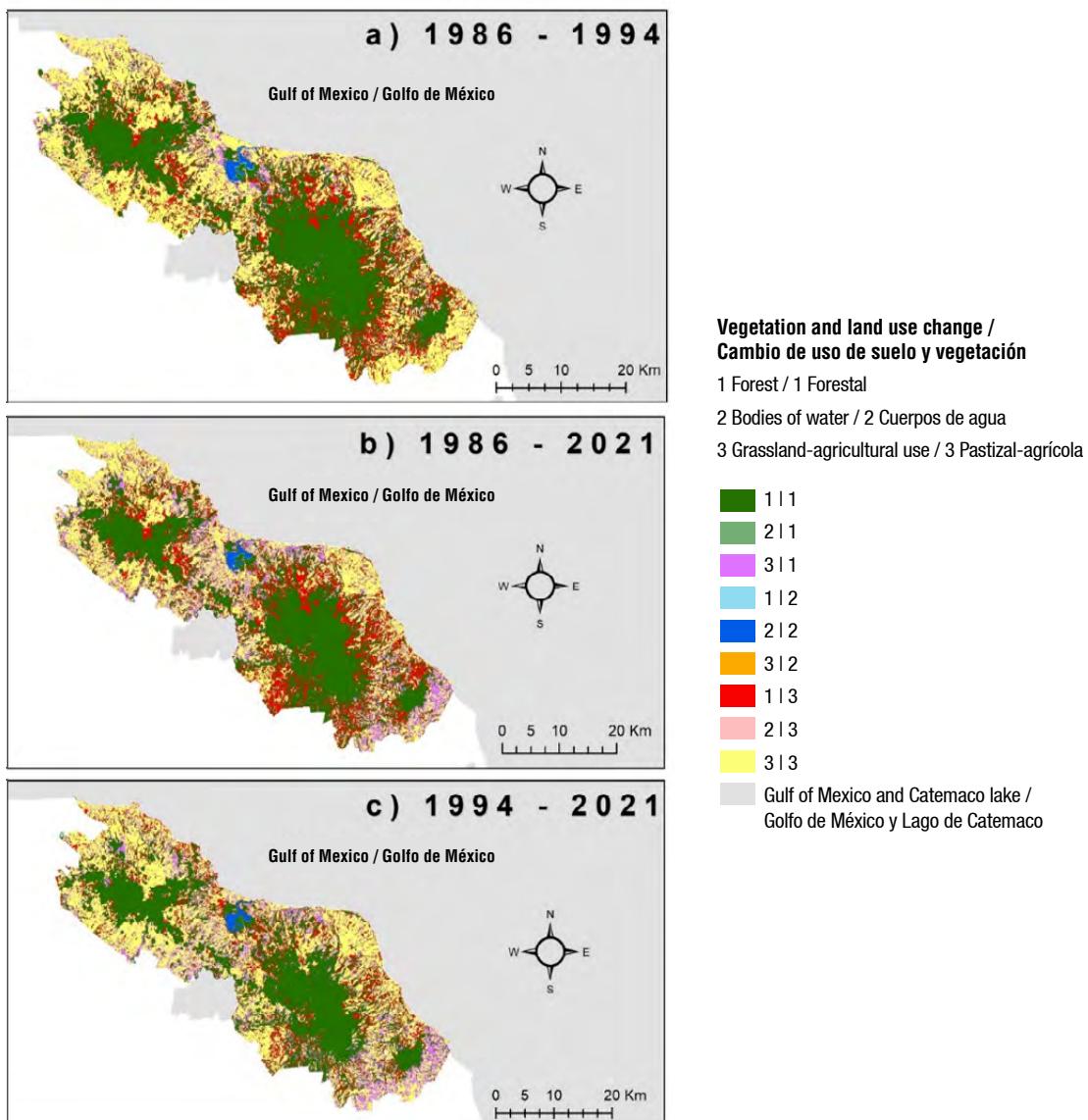
Class / Clase	1986-1994	1994-2021	1986-2021
1 - Forest / 1 - Forestal	-1.79	0.28	-0.19
2 - Water / 2 - Agua	-1.71	0.51	0.00
3 - Grassland / 3 - Pastizal	2.03	-0.29	0.23

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.

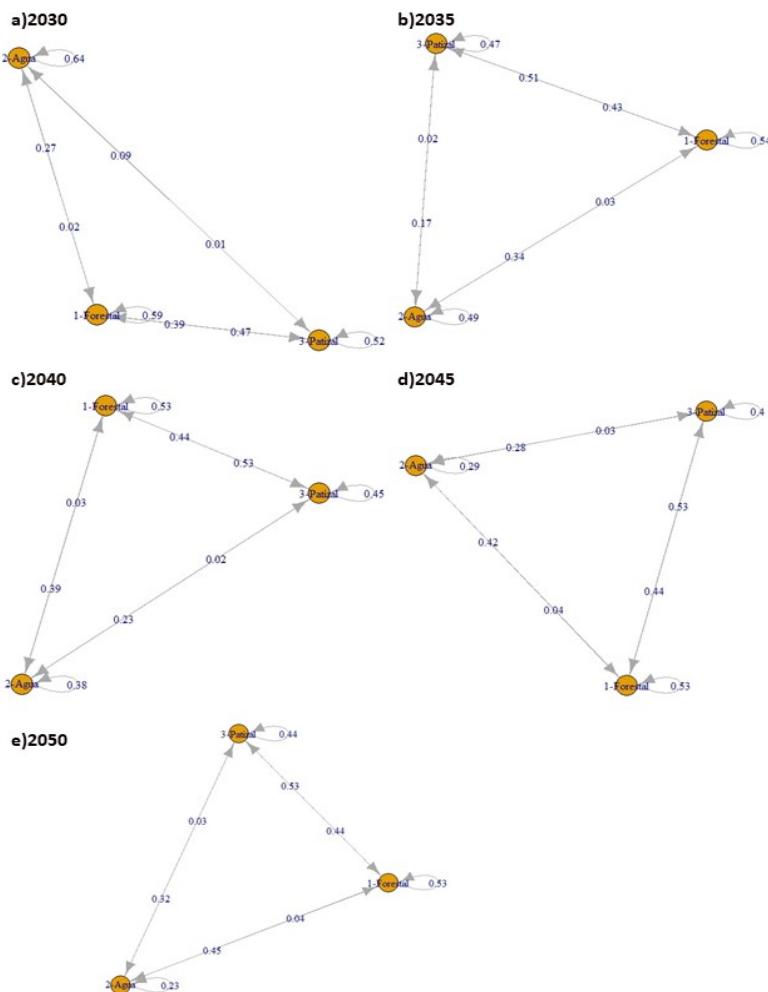
En el periodo 1986 - 2021 la superficie forestal disminuyó 5 771 ha, como se aprecia en color rojo en el mapa de cambio de uso de suelo periodo 1986 - 2021 (Figura 4, b). También se observa en color morado un incremento de la superficie pastizal-agrícola en 5 771 ha. Para el periodo 1994 - 2021, el área 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 entre 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.

Surfaces return to their forest condition, which suggests that ecological restoration or abandonment of agricultural lands could be favoring vegetation regeneration. For 2050, there is a trend towards stabilization, with a possible equilibrium between conversion and forest recovery areas.

On the other hand, water bodies have a low probability of change, with values below 0.04, which indicates that their extension is relatively stable. However, their probability of remaining as water oscillates between 0.23 and 0.64, which suggests

**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 RBLT, 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 (PLANDForest)**

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.

**Metrica 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 parches  $\times 10^2 \text{ha}^{-1}$ , y PD.Bosque 2021 = 68.35 parches  $\times 10^2 \text{ha}^{-1}$ ).

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 euclíadiana media al vecino más cercano del bosque (ENN\_MN.Bosque)**

Se encontraron diferencias significativas en los datos del promedio de la distancia euclíadiana 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 euclíadiana media al vecino más cercano de pasto (ENN\_MN.Pasto)**

Se encontraron diferencias significativas en las medias 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 Soteapan 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 perurbanización 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 zoque-popoluca, 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&tlang=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442014000300022&lng=en&tlang=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](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-biofера-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](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 <sub>i</sub> = percentage of the landscape occupied by the type of class patch . A <sub>ij</sub> = area expressed in m <sup>2</sup> of patch ij. A = total area of the landscape in m <sup>2</sup> . NP = ni / P <sub>i</sub> = porcentaje del paisaje ocupada por el tipo de parche de clase . A <sub>ij</sub> = superficie expresada en m <sup>2</sup> del parche ij. A = superficie total del paisaje en m <sup>2</sup> . NP = ni
NP.Forest - Number of forest patches NP.Grass - Number of grass patches / NP.Bosque - Número de parches del bosque NPPasto - Número de parches de pasto	The number of patches is a measure of fragmentation, NP ≥ 1 (Mcgarigal 2015). / El número de parches es una medida de fragmentación, NP ≥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 <sup>2</sup> ), 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 <sup>2</sup> ), 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 <sup>2</sup> ). / n = número de parches en la clase del paisaje. A = superficie total del paisaje (m <sup>2</sup> ).
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).	hij = distancia del parche ij al parche vecino más cercano del mismo tipo o clase. / hij = 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 <sup>2</sup> , 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 <sup>2</sup> , 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 <sup>2</sup> ) of patch <i>ij</i> . / $P_{ij}$ = perímetro (m) del parche <i>ij</i> . $a_{ij}$ = área (m <sup>2</sup> ) 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).	$CONTIG = \left[ \frac{\sum_{r=1}^z C_{ijr}}{a_{ij}^*} \right] - 1$ $C_{ijr}$ = 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