



Revista Chapingo Serie
Agricultura Tropical



Vol. 5, 2025.

Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical, Volumen 5, 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/rchsagt/>, rgonzalezg@chapingo.mx. Editor responsable: Dr. Roberto González Garduño.

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2022-071314253200-102, e-ISSN: 2954-3886, 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, 30 de enero de 2025.

Directorio de la UACH

Dr. Ángel Garduño García
Rector

M.C. Noe López Martínez
Director General Académico

Dra. Consuelo Silvia Olivia Lobato Calleros
Director General de Investigación y Posgrado

Ing. Jorge Torres Bribiesca
Director General de Administración

Dr. Samuel Pérez Nieto
Director General de Patronato

Mtra. Tania Jessica Pérez Buendía
Dirección General de Difusión Cultural y Servicio

Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez
Coordinador de Revistas Institucionales

Dr. Roberto González Garduño
Editor Principal

Traductores

Sacnite Yeyetzi López Gonzaga
Verónica Nava Castillo

Asistente editorial:

Teresa Rivero Belmonte

Corrección de estilo:

Aurora González Calderón

Diseño editorial

Carlos de la Cruz Ramírez
Rogelio Cruz

Autor de la fotografía de portada:

Dr. Francisco Guevara



Contents

Scientific articles

From isolated practices to the agroecosystemic perspective: the conceptual transformation of maize stubble in the Frailesca region, Chiapas

Ernesto Javier Gómez-Padilla, Francisco Guevara Hernández, Manuel Alejandro La O-Arias

<https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.05.04>

Diversity and cultural value of home gardens in División del Norte, Escárcega, Campeche

Mayra Iliana Rivas, Ranulfo Cruz Aguilar, Alberto Pérez Fernández, Cindy Patricia Sánchez Montejo

<https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.05.02>

Bibliometric analysis of scientific production on genetically modified corn: Trends and new perspectives

Guadalupe Manzano Ocampo

<https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.05.03>

***In vitro* efficacy of eugenol against larvae of *Rhipicephalus sanguineus sensu stricto* (Acari: Ixodidae) from three provinces of Argentina**

Martin Rafael Daniele, Martin Miguel Dade, Jenny Jovana Chaparro-Gutiérrez, Dora Romero-Salas, Roger Iván Rodríguez-Vivas

<https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.05.01>

Diversity of soil macrofauna in agroforestry systems with *Theobroma cacao* in Córdoba, Colombia

Camilo Sierra-Arroyo, Judith Martínez-Atencia, Juan Linares-Arias, Jeyson Garrido-Pineda, José Contreras-Santos

<https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.05.05>

Use of edible mushrooms as a sustainable alternative for the control of gastrointestinal nematodes in sheep

Tomas Escobar Espinosa, Virginia Guadalupe García Rubio, Pedro Abel Hernández García, Juan José Ojeda Carrasco

<https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.05.07>

Characterization of small-scale cattle ranching in the Isthmus of Tehuantepec, Oaxaca

Rubén Manuel Zepeda Cancino, Verónica Vázquez García

<https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.05.06>

Description of a New Isolated River Channel Wetland in Colombia

Luis Antonio Gonzalez Escobar

<https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.05.08>

Solid state fermentation: A comparison of aerobic and anaerobic fermenters performance

Hannia Valentina Espinoza Reyes, Cecilia García Bravo, Sonia Herrera Monrroy

<https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2025.05.09>

The social structure of the cheese factory/cheesemaking industry in Acatlán, Hidalgo, Mexico: Quesería en Acatlán

Silvia Sandra González Montes, Ma. Antonia Pérez Olvera, David Hernández Sánchez, José Luis Pimentel Equihua

<https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2025.05.10>

Iron removal in water using water cabbage (*Pistia stratiotes*)

Marco Arturo Arciniega Galaviz, Karla Patricia Rodríguez Fierro, Arlet Yarely Leyva Loya

<https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2025.05.12>

Inclusion of *Guazuma ulmifolia* (Lam) flour in the production parameters of broiler chickens

Oscar Pérez Jiménez, Fleider Leiser Peña Escalona, Jesús A. Ramos Juárez, Roberto González Garduño, Victorino Gómez Valenzuela

<https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2025.05.14>

Homemade feed for poultry production in Tacotalpa, Tabasco

Guadalupe Morales Valenzuela

<https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2025.05.13>

Research note

The Effect of lamb gender on productive efficiency of lactating multiparous Pelibuey ewes

Ivonne Pérez Ramírez, Jorge Oliva Hernández, Erika Belem Castillo-Linares

<https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2025.05.11>

COMITÉ EDITORIAL

REVISTA CHAPINGO SERIE AGRICULTURA TROPICAL

VOL. 5, 2025

Roberto González Garduño **URUSSE-Universidad Autónoma Chapingo**

Ever del Jesús Flores Santiago **URUSSE-Universidad Autónoma Chapingo**

Gustavo Almaguer Vargas **Fitotecnia-Universidad Autónoma Chapingo**

Ariadna Isabel Barrera Rodríguez **Preparatoria Agrícola-Universidad Autónoma Chapingo**

Anastacio Espejel García **Ingeniería Agroindustrial-Universidad Autónoma Chapingo**

Fernando González Cerón **Departamento de Zootecnia**

Adán Guillermo Ramírez García **CRUNO- Universidad Autónoma Chapingo**

ÁRBITROS

REVISTA CHAPINGO SERIE AGRICULTURA TROPICAL

VOL. 5, 2025

Oswaldo Margarito Torres Chablé	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
María Vila Pena	Universidad de Santiago de Compostela
Juan Manuel Hernández Domínguez	Universidad Autónoma Chapingo
Carlos Héctor Ávila Bello	Universidad Veracruzana
Ma. Alma Rangel Fajardo	INIFAP
Rocío Hernández Díaz	Tecnológico Nacional de México
Edwin Miranda Ruiz	Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia
Rodolfo Montes Rentería	Universidad Autónoma Chapingo
Uriel Armando Macías Castillo	Instituto Tecnológico Superior de El Mante
Adán Guillermo Ramírez García	Universidad Autónoma Chapingo
Elvia Nereida Rodríguez Saucedo	Universidad Autónoma Indígena de México
Ever del Jesús Flores Santiago	Universidad Autónoma Chapingo
Karina Madrid Espinosa	Colegio de Postgraduados
Miguel Ángel López	Universidad Autónoma de Sinaloa
Diego Ortiz Pérez	Universidad Autónoma de Chiapas
Yadeneiro De la Cruz Elizondo	Universidad Veracruzana
Melissa Bocanera Salazar	Universidad Juárez del Estado de Durango
Alejandra Gabriela Bárcenas Irabién	Universidad Autónoma de Guerrero
Jesús Alberto Ramos Juárez	Colegio de Postgraduados
Axel Kala Saldaña	Universidad Autónoma del Estado de México
Sergio Cruz Hernández	Universidad Autónoma Chapingo
Gerardo Jiménez Penago	Colegio de Postgraduados
Jorge A. Maldonado Jáquez	Colegio de Postgraduados
Paulina Vázquez Mendoza	Universidad Autónoma Chapingo
Johana Paola Galeano Díaz	Universidad Autónoma del Estado de México

CONSEJO CONSULTIVO

REVISTA CHAPINGO SERIE AGRICULTURA TROPICAL

VOL. 5, 2025

Roberto González Garduño
URUSSE – Universidad Autónoma Chapingo. México.

Carlos Avendaño Arrazate
INIFAP. México.

Saúl Espinoza Zaragoza
UNACH. México.

Magnolia Conde Felipe
Universidad de las Palmas de Gran Canaria, España.

Eugenio Eliseo Santacruz de León
Universidad Autónoma Chapingo. México.

Glaforo Torres Hernández
Colegio de Postgraduados. México.



EN

From isolated practices to the agroecosystemic perspective: the conceptual transformation of maize stubble in the Frailesca region, Chiapas

ES

De prácticas aisladas a la perspectiva agroecosistémica: la transformación conceptual del rastrojo de maíz en la Región Frailesca, Chiapas

Ernesto Javier Gómez-Padilla; Francisco Guevara-Hernández*; Manuel Alejandro La O-Arias

Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agronómicas, Campus V. carretera Ocozacoautla-Villaflores, km 84.5, Apartado postal núm. 78. Villaflores, Chiapas. México. C.P. 30470

Abstract

***Corresponding author:**
francisco.guevara@unach.mx
ORCID ID: 0000-0002-1444-6324

Received: October 27, 2024

Accepted: February 24, 2025

Published online: March 24, 2025

In the tropics, characterized by their biological and cultural richness, diverse agroecosystems are developed for food production. In Chiapas (Mexico), traditional agroecosystems such as coffee, maize and cattle are coexisting, supporting thousands of families. However, these systems face environmental, social and economic challenges that need to be studied with alternative approaches, beyond productivist models. The objective of this essay is to contribute to the conceptualization of stubble as an agroecosystem, based on a theoretical-conceptual analysis and on the state of the art of related research in Chiapas. This approach seeks to guide research and strategies to improve the management and sustainability of maize and livestock production. Concepts, methodologies used and results obtained in terms of productivity and sustainability are reviewed, with a particular emphasis on energy flow and energy balance as tools to understand the functioning and improvement of agroecosystems. As a result, a proposal is presented which conceptualizes stubble with agroecosystemic functions and highlights its use as an adaptation and resilience strategy for agricultural producers in the face of climate change conditions. The stubble manifests itself temporarily, emerging during the dry season due to dynamic interactions between several factors, such as the presence of dry biomass after the maize harvest, the lack of pasture in the paddocks and the need for livestock feed. It is concluded that the analysis of tropical agroecosystems from a complex perspective is essential for their understanding and improvement.

Keywords: residues, maize, livestock, energy flow, traditional agroecosystems.

Resumen

En los trópicos, caracterizados por su riqueza biológica y cultural, se desarrollan diversos agroecosistemas para la producción de alimentos. En Chiapas (México), coexisten agroecosistemas tradicionales como el café, el maíz y la ganadería bovina, que sustentan a miles de familias. Sin embargo, estos sistemas enfrentan retos ambientales, sociales y económicos que requieren ser estudiados con enfoques alternativos, más allá de los modelos productivistas. El objetivo de este ensayo es contribuir a la conceptualización del rastrojo como agroecosistema, a partir de un análisis teórico-conceptual y en el estado del arte de investigaciones relacionadas en Chiapas. Este enfoque busca orientar investigaciones y estrategias que mejoren la gestión y sustentabilidad de las producciones de maíz y ganadería. Se revisan conceptos, metodologías empleadas y resultados obtenidos en términos de productividad y sustentabilidad, con un énfasis particular en



Please cite this article as follows (APA 7): Gómez-Padilla, E. J., Guevara-Hernández, F., & La O-Arias, M. A. (2025). From isolated practices to the agroecosystemic perspective: the conceptual transformation of maize stubble in the Frailesca region, Chiapas. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 5, e202404. doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.05.04>

el flujo de energía y el balance energético como herramientas para comprender el funcionamiento y la mejora de los agroecosistemas. Como resultado, se presenta una propuesta que conceptualiza el rastrojo con funciones agroecosistémicas y destaca su uso como estrategia de adaptación y resiliencia para los productores ante las condiciones del cambio climático. El rastrojo se manifiesta temporalmente, emerge durante la época de sequía debido a interacciones dinámicas entre diversos factores, como la presencia de biomasa seca tras la cosecha de maíz, la falta de pastos en los potreros y la necesidad de alimento para el ganado. Se concluye que el análisis de los agroecosistemas tropicales desde una perspectiva de complejidad es esencial para su comprensión y mejora.

Palabras clave: Esquilmos, maíz, ganadería, flujo energético, Agroecosistemas tradicionales.

Introduction

One of the great global challenges is to achieve economic, social and environmental sustainability, as established by the United Nations 2030 Agenda. Among the 17 Sustainable Development Goals (SDG), “Zero Hunger” (SDG-2) is presented as one of the most challenging. (United Nations General Assembly [UNGA], 2015).

According to FAO, in its 2023 annual report, the number of people suffering from hunger exceeded 735 million, reflecting an increase of 122 million since 2019 (FAO, FIDA, WHO, PMA and UNICEF, 2023). In Latin America and the Caribbean, more than 268 million foods are insecure (FAOSTAT, 2022), a trend that follows global behavior (FAO, FIDA, WHO, PMA and UNICEF, 2023).

In the current scenario, the combination of increasingly relevant global problems such as climate change, the COVID-19 pandemic and geopolitical conflicts have hindered progress towards achieving “Zero Hunger”. Additionally, the productivist trend in agriculture has widened the gaps between production, distribution and resilience of agroecosystems (FAOSTAT, 2022). In response to this situation, a significant part of the scientific community, academics, agricultural producers, investors, politicians and other agents are looking for alternatives for food production under a holistic approach with ethical, moral, social and cultural bases in accordance with the current context (Sachs et al., 2019). These proposals seek to complement the particular and the general.

In the Frailesca region of Chiapas, maize stubble plays a key role in the interaction between maize and livestock production systems (Caballero-Salinas et al., 2017; Guevara-Hernández et al., 2013). Although historically underused, its proper management offers benefits such as the

Introducción

Uno de los grandes retos globales es alcanzar la sostenibilidad económica, social y ambiental, como lo establece la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. Entre los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el “Hambre cero” (ODS-2) se presenta como uno de los más desafiantes United Nations General Assembly [UNGA], (2015).

Según la FAO, en su informe anual 2023, el número de personas que padecen hambre superó los 735 millones, lo que refleja un aumento de 122 millones desde 2019 (FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF, 2023). En América Latina y el Caribe, más de 268 millones de personas sufren inseguridad alimentaria (FAOSTAT, 2022), una tendencia que sigue el comportamiento global (FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF, 2023).

En el escenario actual, la combinación de problemas globales cada vez más relevantes como el cambio climático, la pandemia del COVID-19 y los conflictos geopolíticos han obstaculizado los progresos hacia lograr el “Hambre Cero”. Adicionalmente, la tendencia productivista en la agricultura ha ampliado las diferencias entre la producción, distribución y resistencia de los agroecosistemas (FAOSTAT, 2022). En respuesta a esta situación, una parte importante de la comunidad científica, académicos, productores, inversionistas, políticos y otros actores, buscan alternativas para la producción de alimentos bajo un enfoque holístico con bases éticas, morales, sociales y culturales acordes al contexto actual (Sachs et al., 2019). Estas propuestas buscan complementar lo particular y lo general.

En la Región Frailesca de Chiapas, el rastrojo de maíz juega un papel clave en la interacción entre los sistemas productivos de maíz y ganadería (Caba-

improvement of the physical, chemical and biological characteristics of the soil when incorporated as organic material, its use in animal feed and the generation of monetary income when marketed by agricultural producers (Caballero et al., 2017). Therefore, its analysis is vital to understand the dynamics of the agroecosystem and to develop sustainable strategies that contribute to solving challenges at the local level.

In addition, stubble contributes to global sustainability goals, particularly in relation to ODS-2 ("Zero Hunger") and ODS-13 ("Climate Action"), since its use and management not only promote sustainable production but also increase the resilience of agroecosystems in the context of climate change (de Gortari-Rabiela & Santos-Corral, 2019). These elements highlight its relevance for the Frailesca region.

This is not necessarily a new substantive approach, but it does represent an *ad hoc* vision to address the prevailing conditions in the global agricultural sector, since it is based on the basis of General Systems Theory (GST) (von Bertalanffy, 1975) and complex thinking (Morin, 1995). GST provides a way to observe, analyze and transform complex scenarios by recognizing the relationships between all the parts and components of the system (la Peña-Consuegra & Velázquez-Ávila, 2018; Maldonado, 2022). Applying these principles in scientific research allows not only to improve socio-environmental processes, but also to transcend towards economic-productive dimensions (Becerra, 2020).

This approach is particularly relevant for understanding production systems characteristic of the region's cultural tradition, such as maize and ranching cattle (Arias et al., 2023; Camacho-Vera et al., 2021). In this context, stubble is conceived as an emergent system, both temporally and spatially, that integrates both systems. This represents a shift from the traditional way of studying and analyzing stubble, which has usually focused on isolated practices (Guevara-Hernández et al., 2013; Salinas-Vargas et al., 2022). Instead, a systemic approach is proposed that recognizes its importance in the interrelationship of these systems. The study of this systemic approach to stubble will contribute to a better understanding of the dynamics and structure of tropical agroecosystems and will allow the identification of actions or strategies to improve productivity and economic and social development in the Frailesca region agroecosystems.

The objective of this essay is to contribute to the conceptualization of the stubble agroecosystem based on the advances and contributions of the state of the art and analysis theoretical-conceptual of related research in Chiapas, in order to pertinently focus research and strategies to improve the management and sustainability of maize and livestock production.

llero-Salinas et al., 2017; Guevara-Hernández et al., 2013). Aunque históricamente subutilizado, su manejo adecuado, ofrece beneficios como la mejora de las características físicas, químicas y biológicas del suelo al ser incorporado como material orgánico, su uso en la alimentación animal y la generación de ingresos monetarios al ser comercializado por los productores (Caballero et al., 2017). Por lo tanto, su análisis es vital para comprender la dinámica del agroecosistema y elaborar estrategias sustentables que contribuyan a resolver los desafíos a nivel local.

Además, el rastrojo contribuye a los objetivos globales de sostenibilidad, particularmente en relación con el ODS-2 ("Hambre cero") y el ODS-13 ("Acción por el clima"), ya que su uso y manejo no solo promueven la producción sostenible, sino que también incrementa la resiliencia de los agroecosistemas en el contexto del cambio climático (de Gortari-Rabiela & Santos-Corral, 2019). Estos elementos destacan su relevancia para la región Frailesca.

No se trata necesariamente de un nuevo planteamiento de fondo, pero sí representa una visión *ad hoc* para atender las condiciones prevalecientes en el sector agropecuario mundial, ya que se cimenta sobre la base de la Teoría General de Sistemas (TGS) (von Bertalanffy, 1975) y del pensamiento complejo (Morin, 1995). La TGS proporciona una forma de observar, analizar y transformar escenarios complejos al reconocer las relaciones entre todas las partes y componentes del sistema (la Peña-Consuegra & Velázquez-Ávila, 2018; Maldonado, 2022). Aplicar estos principios en la investigación científica permite no solo mejorar los procesos socioambientales, sino también trascender hacia dimensiones económico-productivas (Becerra, 2020).

Este enfoque es particularmente relevante para comprender los sistemas productivos característicos de la tradición cultural de la región, como el maíz y la ganadería bovina (Arias et al., 2023; Camacho-Vera et al., 2021). En este contexto, el rastrojo se concibe como un sistema emergente, tanto temporal como espacial, que integra ambos sistemas. Esto representa un cambio de la forma tradicional de estudiar y analizar el rastrojo, que usualmente se ha centrado en prácticas aisladas (Guevara-Hernández et al., 2013; Salinas-Vargas et al., 2022). En lugar de ello, se propone un enfoque sistémico que reconoce su importancia en la interrelación de estos sistemas. El estudio de este enfoque sistémico del rastrojo contribuirá a entender mejor la dinámica y estructura de los agroecosistemas tropicales y permitirá identificar acciones o estrategias para mejorar la productividad y el desarrollo económico y social en la región Frailesca.

El objetivo de este ensayo es contribuir a la conceptualización del agroecosistema rastrojo a partir de los

Methodological approach

The study, of an exploratory, descriptive and of a theoretical-conceptual nature, was based on the systemic approach and the complexity paradigm to address agroecosystems from a multidimensional and integrative perspective (von Bertalanffy, 1975; Morin, 1995; Sampieri & Mendoza, 2018). Concepts, methodologies and results related to productivity and sustainability were reviewed. A search was carried out in remote databases such as Google Scholar, Scopus, Web of Science and SciELO, focusing on scientific articles from the last five years and classic books related to General Systems Theory and the complexity paradigm. In addition, doctoral theses and publications on websites of governmental and non-governmental agencies and organizations at national and international level were included. As part of the analysis, a conceptualization of the use of stubble is proposed, as a dynamic system that is part of a temporary strategy of adaptation and resilience to adverse climatic conditions that affect the agroecosystems of the dry tropics, especially in Frailesca, Chiapas.

The paradigms of science, the basis of research design in agricultural sciences

The study of agroecosystems requires a solid theoretical basis capable of addressing the complexity inherent in these systems. This is where scientific paradigms, as shared models of thinking, guide the research process by offering different perspectives and methodologies to solve problems (Morin, 1999; Guba & Lincoln, 2002; de Franco & Solórzano, 2020). Paradigms allow the selection of appropriate theoretical and methodological approaches by answering key questions from ontology, epistemology and methodology, which is essential when investigating the interaction of biological, social and ecological factors in agricultural systems.

In 1956, Kenneth Boulding presented a hierarchy of systems based on their level of complexity, ranging from simple systems, such as mechanical systems, to more complex ones, such as social systems (Boulding, 1956). This hierarchy is key to identify the nature and complexity of agricultural systems and to select appropriate approaches for their analysis.

Later, in 1968, Karl Ludwig von Bertalanffy developed the general systems theory, which laid the foundations for understanding complex systems as a set of inter-related elements working towards common objectives (von Bertalanffy, 1968). General Systems Theory (GST) has been fundamental in agricultural research, since it allows understanding agroecosystems as open and dynamic systems in which ecological, economic and social factors interact.

avances y aportes del estado del arte y análisis teórico-conceptual de investigaciones afines en Chiapas, para enfocar de forma pertinente investigaciones y estrategias mejoradoras de la gestión y sustentabilidad de las producciones de maíz y ganadería.

Enfoque metodológico

El estudio, de naturaleza exploratoria, descriptiva y teórico-conceptual, se basó en el enfoque sistémico y el paradigma de la complejidad para abordar los agroecosistemas desde una perspectiva multidimensional e integradora (von Bertalanffy, 1975; Morin, 1995; Sampieri & Mendoza, 2018). Se examinaron los conceptos, metodologías y resultados relacionados con la productividad y la sustentabilidad. Se llevó a cabo una búsqueda en bases de datos remotas como Google Scholar, Scopus, Web of Science y SciELO, centrada en artículos científicos de los últimos cinco años y libros clásicos relacionados con la Teoría General de Sistemas y el paradigma de la complejidad. Además, se incluyeron tesis de doctorado y publicaciones en sitios web de organismos y organizaciones gubernamentales y no gubernamentales a nivel nacional e internacional. Como parte del análisis, se propone una conceptualización del uso de los rastrojos, como un sistema dinámico que forma parte de una estrategia temporal de adaptación y resiliencia frente a las condiciones climáticas adversas que afectan a los agroecosistemas del trópico seco, especialmente de la Frailesca, Chiapas.

Los paradigmas de la ciencia, base del diseño de la investigación en las ciencias agropecuarias

El estudio de los agroecosistemas requiere una base teórica sólida capaz de abordar la complejidad inherente a estos sistemas. Aquí es donde los paradigmas de la ciencia, como modelos de pensamiento compartidos, guían el proceso investigativo al ofrecer diferentes perspectivas y metodologías para resolver problemas (Morin, 1999; Guba & Lincoln, 2002; de Franco & Solórzano, 2020). Los paradigmas permiten seleccionar enfoques teóricos y metodológicos adecuados al responder preguntas clave desde la ontología, epistemología y metodología, lo que resulta esencial al investigar la interacción de factores biológicos, sociales y ecológicos en los sistemas agropecuarios.

En 1956, Kenneth Boulding presentó una jerarquía de sistemas basada en su nivel de complejidad, que abarca desde los sistemas simples, como los mecánicos, hasta los más complejos, como los sistemas sociales (Boulding, 1956). Esta jerarquía resulta clave para identificar la naturaleza y complejidad de los

By applying Building's and the GST's hierarchy, stubble in the Frailesca region can be analyzed from an integrated perspective. Instead of being considered as an isolated component, the stubble is understood as part of a broader agricultural system that connects maize production and cattle ranching. This systemic approach allows understanding the interactions and complexities between the components of the system, which facilitates the implementation of sustainable strategies for its management.

Complexity of agroecosystems

Agroecosystems are socioecological systems whose complexity depends on two key factors: the diversity of components with dynamic interactions and the cultural factor, which is introduced by human action. General Systems Theory (GST) facilitates the integration of several disciplines, allowing a better understanding of ecological and social systems, where adaptive cycles (panarchy) predominate under a hierarchical structure (Boulding, 1956; von Bertalanffy, 1968).

GST and complex thinking provide a logical framework to be applied through specific methodologies and tools. An example is system energy analysis, which evaluates inputs, outputs and interactions between subsystems, being fundamental to understand and optimize agricultural processes (Purroy et al., 2016). Understanding the importance of energy and its flow is essential to analyze system performance.

Energy and its flow as tools for agroecosystem analysis

The term energy, initially proposed to describe the capacity to perform work, has evolved as it is understood that it is always associated with processes that describe its origin or nature (Arias, 2006; Artuzo et al., 2021). It is classified as primary energy, coming from natural sources such as water, wind or sun, and secondary energy, generated from the transformation of the former (Artuzo et al., 2021).

Both forms are governed by the laws of thermodynamics. The first law states that energy is neither created nor destroyed, it is only transformed. The second law indicates that every process in a system increases its entropy, or level of disorder (Lorenzón, 2020; Martínez et al., 2022). The greater the entropy, the greater the dissipation of energy and the greater the complexity (von Bertalanffy, 1975; de Aragón, 1995).

In production systems, efficiency depends on energy losses and the level of entropy. The same occurs in agroecosystems, where energy enters, is transformed

sistemas agropecuarios y seleccionar los enfoques adecuados para su análisis.

Más tarde, en 1968, Karl Ludwig von Bertalanffy desarrolló la teoría general de sistemas, la cual sentó las bases para entender los sistemas complejos como un conjunto de elementos interrelacionados que trabajan hacia objetivos comunes (von Bertalanffy, 1968). La TGS ha sido fundamental en la investigación agropecuaria, ya que permite comprender los agroecosistemas como sistemas abiertos y dinámicos en los que interactúan factores ecológicos, económicos y sociales.

Al aplicar la jerarquía de Building y la TGS, se puede analizar el rastrojo en la región Frailesca, desde una perspectiva integrada. En lugar de considerarlo como un componente aislado, el rastrojo se entiende como parte de un sistema agropecuario más amplio que conecta la producción de maíz y la ganadería bovina. Este enfoque sistémico permite entender las interacciones y complejidades entre los componentes del sistema, lo que facilita la implementación de estrategias sostenibles para su manejo.

Complejidad de los agroecosistemas

Los agroecosistemas son sistemas socioecológicos cuya complejidad depende de dos factores clave: la diversidad de componentes con interacciones dinámicas y el factor cultural, que introduce la acción humana. La Teoría General de Sistemas (TGS) facilita la integración de diversas disciplinas, permite una mejor comprensión de los sistemas ecológicos y sociales, donde predominan los ciclos adaptativos (panarquía), bajo una estructura jerárquica (Boulding, 1956; von Bertalanffy, 1968).

La TGS y el pensamiento complejo proporcionan un marco lógico que debe aplicarse mediante metodologías y herramientas específicas. Un ejemplo es el análisis energético del sistema, que evalúa entradas, salidas e interacciones entre subsistemas, y resulta fundamental para entender y optimizar los procesos agropecuarios (Purroy et al., 2016). Comprender la importancia de la energía y su flujo es esencial para analizar el funcionamiento del sistema.

La energía y su flujo como herramientas de análisis del agroecosistema

El término energía, inicialmente propuesto para describir la capacidad de realizar trabajo, ha evolucionado al comprenderse que está siempre asociada a procesos que describen su origen o naturaleza (Arias, 2006; Artuzo et al., 2021). Se clasifica en energía primaria, proveniente de fuentes naturales

into products and by-products, and part of it is lost due to inefficiency. Knowing the inputs, outputs and internal interactions is key to improving these systems, although their open and dynamic nature limits total control over them (Guevara-Hernández, 2007).

Types of energy and their relationship to inputs and outputs

In the energy analysis of agricultural systems, two types of energy are distinguished: ecological and cultural, the latter subdivided into biological and industrial. The efficiency of the energy flow is evaluated according to the ratio between inputs (cultural energy) and outputs. Cultural energy involves the modification of the natural environment to satisfy human needs (Purroy et al., 2016; Giménez et al., 2022).

Ecological energy, coming from solar energy, is captured by plants through photosynthesis, transforming it into chemical energy with high biological value, essential for crop growth and yield (Hernández et al., 2019). This energy is essential to improve the efficiency and sustainability of agroecosystems, forming part of their internal cycles.

Cultural energy transforms an ecosystem into an agroecosystem, seeking the efficient use of ecological energy to achieve sustainability (Giménez et al., 2022; Kumar et al., 2023). However, the dependence on industrial energy raises environmental and social concerns, and generates methodological questions about its study and characterization. These questions open opportunities for interdisciplinary research to analyze complex interactions in agroecosystems.

Conventional soil preparation exemplifies the complexity of energy analysis, as it requires machinery and fuels, but causes energy losses due to the alteration of biota and degradation of organic matter. This raises the question: what is the energy cost of these losses? Excessive use of machinery can have long-term negative effects on soil and the environment, and the energy cost associated with these practices, as well as their economic impact, is unknown.

In contrast, minimum tillage or no till changes the energy focus by prioritizing labor for planting and harvesting, promotes more efficient use of local energy and soil conservation, although it does not always improve energy efficiency.

Research in maize and cattle systems has evaluated energy efficiency. Guevara et al. (2015) found that energy efficiency in maize-bean and traditional maize systems is higher with 1.12 Mcal produced for each

como agua, viento o sol, y en energía secundaria, generada a partir de la transformación de la primera (Artuzo et al., 2021).

Ambas formas están regidas por las leyes de la termodinámica. La primera ley establece que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma. La segunda ley indica que todo proceso en un sistema incrementa su entropía, o nivel de desorden (Lorenzón, 2020; Martínez et al., 2022). A mayor entropía mayor disipación de energía y mayor complejidad (von Bertalanffy, 1975; de Aragón, 1995).

En los sistemas productivos, la eficiencia depende de las pérdidas energéticas y el nivel de entropía. Lo mismo ocurre en los agroecosistemas, donde la energía entra, se transforma en productos y subproductos, y parte de ella se pierde por ineficiencia. Conocer las entradas, salidas y las interacciones internas es clave para mejorar estos sistemas, aunque su naturaleza abierta y dinámica limita el control total sobre ellos (Guevara-Hernández, 2007).

Tipos de energía y su relación con las entradas y salidas

En el análisis energético de sistemas agropecuarios se distinguen dos tipos de energía: ecológica y cultural, esta última subdividida en biológica e industrial. La eficiencia del flujo energético se evalúa según la relación entre insumos (energía cultural) y productos. La energía cultural implica la modificación del entorno natural para satisfacer necesidades humanas (Purroy et al., 2016; Giménez et al., 2022).

La energía ecológica, proveniente de la energía solar, es capturada por las plantas a través de la fotosíntesis, convertida en energía química con alto valor biológico, fundamental para el crecimiento y rendimiento de cultivos (Hernández et al., 2019). Esta energía es esencial para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los agroecosistemas, formando parte de sus ciclos internos.

La energía cultural transforma un ecosistema en agroecosistema, buscando el uso eficiente de la energía ecológica para lograr sustentabilidad (Giménez et al., 2022; Kumar et al., 2023). Sin embargo, la dependencia de la energía industrial plantea preocupaciones ambientales y sociales, y genera interrogantes metodológicas sobre su estudio y caracterización. Estas interrogantes abren oportunidades para investigaciones interdisciplinarias que analicen las interacciones complejas en los agroecosistemas.

La preparación convencional del suelo ejemplifica la complejidad del análisis energético, ya que requiere

Mcal consumed, while the commercial system reached 0.99, highlighting that diversification and the use of native maize require less inputs. In an extended study, Guevara et al. (2018) showed that both conservation and conventional agriculture presented high energy efficiency, with productions of 9.08 and 9.27 MJ per unit of energy consumed, respectively.

Martínez et al. (2021) classified agricultural producers in the Frailesca region into five groups according to their energy efficiency, which ranged from 9.73 to 17.29 MJ, indicating a positive energy balance. In contrast, livestock systems tend to be less efficient than agricultural systems, due to energy loss in the food chain and animal metabolism (Funes-Monzote, 2009; Hernández et al., 2019). However, efficiency can vary depending on production objectives, technologies, and production systems. Reyes et al. (2013) found that in beef livestock systems in Tecpatán, Chiapas, energy efficiency exceeded almost five times the energy consumption, attributed to its economic and sustainable operation. In studies by Valdivieso-Pérez et al. (2019), efficiencies of 1.65 to 2.8 were reported in dual-purpose livestock production units in Chiapas.

Complexity and dynamism: the Frailesca livestock and maize agroecosystems.

Livestock agroecosystem

Cattle ranching in Mexico is widespread. According to the report of Agrifood and Fisheries Information Service (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP by its Spanish acronym, 2024), around 13.5 million tons of beef and 13,105 million liters of milk were produced, 2.0% higher than in 2021. Chiapas is one of the country's representative states in meat and milk production with more than 107,000 tons and 436,000 liters respectively (SIAP, 2024). In Chiapas, Frailesca is one of the regions with the highest productive activity. Of the total number of cattle ranchers in the state, it contributes 27%, which involves around 7,000 registered producers (Asociación Ganadera Local Villaflores, 2023; Unión Ganadera General Estatal de Chiapas, 2023).

The complexity of the livestock system can be addressed from three fundamental elements: Subjectivity: This is reflected in the diversity of the system and its variants: in management, socio-productive rationality and livelihood strategies. These systems have evolved towards greater diversification, adapting to changing economic, environmental and social conditions. From essentially livestock farming, there are now mixed production systems, where, in addition to livestock farming, perennial and annual crops for human and animal feed

maquinaria y combustibles, pero provoca pérdidas energéticas por la alteración de la biota y degradación de la materia orgánica. Esto suscita la pregunta: ¿cuál es el costo energético de estas pérdidas? El uso excesivo de maquinaria puede tener efectos negativos a largo plazo en el suelo y el medio ambiente, y el costo energético asociado a estas prácticas, así como su impacto económico, es desconocido.

En contraste, el laboreo mínimo o la labranza cero cambian el enfoque energético al priorizar la mano de obra para siembra y cosecha, promueven el uso más eficiente de la energía local y la conservación del suelo, aunque no siempre mejora la eficiencia energética.

Investigaciones en sistemas de maíz y ganadería bovina han evaluado la eficiencia energética. Guevara et al. (2015) encontraron que la eficiencia energética en los sistemas de maíz-frijol y maíz tradicional es mayor con 1.12 Mcal producidas por cada Mcal consumidas, mientras que el sistema comercial alcanzó 0.99, lo que destaca que la diversificación y el uso de maíces criollos requieren menos insumos. En un estudio ampliado, Guevara et al. (2018) demostraron que tanto la agricultura de conservación como la convencional presentaron alta eficiencia energética, con producciones de 9.08 y 9.27 MJ por unidad de energía consumida, respectivamente.

Martínez et al. (2021) tipificaron a los productores de la Región Frailesca en cinco grupos según su eficiencia energética, que osciló entre 9.73 y 17.29 MJ, indicando un balance energético positivo. En contraste, los sistemas ganaderos tienden a ser menos eficientes que los agrícolas, debido a la pérdida de energía en la cadena alimentaria y el metabolismo animal (Funes-Monzote, 2009; Hernández et al., 2019). No obstante, la eficiencia puede variar según los objetivos productivos, tecnologías y sistemas de producción. Por ejemplo, Reyes et al. (2013) encontraron que en sistemas ganaderos de carne en Tecpatán, Chiapas, la eficiencia energética superaba casi cinco veces el consumo de energía, atribuido a su operación económica y sostenible. En estudios de Valdivieso-Pérez et al. (2019), se reportaron eficiencias de 1,65 a 2,8 en unidades de producción ganadera de doble propósito en Chiapas.

Complejidad y dinamismo: los agroecosistemas ganadería y maíz de la Frailesca

Agroecosistema ganadero

La ganadería bovina en México está ampliamente extendida. Según el informe del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera del año 2022 (SIAP, 2024), se produjeron alrededor de 13.5 millones de toneladas

are incorporated, as well as a diversification in animal species (Herrán et al., 2023).

The diversity and dynamism of components and their interactions: These are reflected in the diverse productive forms that integrate livestock, maize and other crops (Aguilar et al., 2023). This diversity implies the incorporation of new elements, which increases the complexity of the interactions between its components, which, in turn, manifest themselves in a non-linear manner and with imbalances over time. Therefore, its implementation requires an integrative and dynamic evaluation of the available natural resources, the economic and technological status of the agricultural producer, as well as the sociocultural elements. This holistic approach determines the form and effectiveness of management (Bernués et al., 2019).

Uncertainty in context: This is manifested through changing geopolitical conditions, economic crises, social complexities and climate change. These factors directly or indirectly impact the livestock scenario, creating an environment characterized by unpredictability and the need for constant adaptation (Blanco et al., 2020).

The maize agroecosystem

Maize (*Zea mays* L.) is one of the species most deeply linked to the cultural heritage and diet of the Mexican people (García & Giraldo, 2021). Around 7 million hectares of maize are grown annually in Mexico and grain production exceeds 26 million tons per year. Of this amount, the state of Chiapas contributes 1.4 million tons (SIAP, 2024). In Chiapas, the Frailesca region has annual plantings of more than 61,000 ha with an average yield of $3.45 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ and production of more than 205,000 t, making it one of the most productive regions in the state (SIAP, 2024).

In La Frailesca, the excessive use of agrochemicals and pesticides, together with accelerated deforestation, has triggered soil degradation processes and a notable decrease in its productive capacity (Bernal et al., 2020). Due to these reasons, an increase in the implementation of mixed systems has been documented, where livestock and agricultural production are integrated as a strategy and a fundamental component in ensuring sustainability and family livelihood (Caballero-Salinas et al., 2017).

Within the context of these forms of production, common and particular variants have been identified. In studies conducted by Martínez et al. (2021), groups of agricultural producers were classified according to components such as: yield and efficiency, maize profile and energy consumption (Table 1).

de carne bovina y una producción de 13 105 millones de litros de leche, cifra 2.0 % mayor en comparación con 2021. Chiapas es uno de los estados representativos del país en producción de carne y leche con más de 107 000 toneladas y 436 000 litros respectivamente (SIAP, 2024). En el territorio Chiapaneco, la Frailesca es una de las regiones de mayor actividad productiva. Del total de ganaderos del estado, esta aporta el 27 %, lo que involucra alrededor de 7 000 productores registrados en el padrón (Asociación Ganadera Local Villaflores, 2023; Unión Ganadera General Estatal de Chiapas, 2023).

La complejidad del sistema ganadero se puede abordar desde tres elementos fundamentales: La subjetividad: Se refleja en la diversidad del sistema y sus variantes: en manejo, la racionalidad socioproductiva y las estrategias de vida. Estos sistemas han evolucionado hacia una mayor diversificación, adaptándose a condiciones económicas, ambientales y sociales cambiantes. De formas esencialmente ganaderas, ahora se encuentran sistemas mixtos de producción, donde, además de la ganadería, se incorporan cultivos perennes y anuales destinados a la alimentación humana y animal, y una diversificación en especies animales (Herrán et al., 2023).

La diversidad y dinamismo de componentes y sus interacciones: Se reflejan en las diversas formas productivas que integran ganadería, maíz y otros cultivos (Aguilar et al., 2023). Esta diversidad implica la incorporación de nuevos elementos, lo que aumenta la complejidad de las interacciones entre sus componentes, las cuales, a su vez, se manifiestan de manera no lineal y con desequilibrios a través del tiempo. Por lo tanto, su implementación requiere una evaluación integradora y dinámica de los recursos naturales disponibles, el estatus económico y tecnológico del productor, así como los elementos socioculturales. Este enfoque holístico determina la forma y efectividad del manejo (Bernués et al., 2019).

La incertidumbre en el contexto: Se manifiesta a través de las condiciones geopolíticas cambiantes, crisis económicas, complejidades sociales y el cambio climático. Estos factores impactan directa o indirectamente en el escenario ganadero, que crean un entorno caracterizado por la imprevisibilidad y la necesidad de adaptación constante (Blanco et al., 2020).

El agroecosistema maíz

El maíz (*Zea mays* L.), es una de las especies más profundamente ligadas al acervo cultural y a la alimentación del pueblo mexicano (García & Giraldo, 2021). Anualmente se cultivan en México alrededor de 7 millones de hectáreas de maíz y las producciones del

Table 1. Typological characteristics of agricultural producers in the Frailesca region and their energy efficiency**Cuadro 1. Características tipológicas de productores de la Región Frailesca y su eficiencia energética**

Types of agricultural producers / Tipos de productores	Presence of producers (%) / Presencia de productores (%)	Energy efficiency (MJ)/ Eficiencia energética (MJ)
Type I (Small Cornfields) / Tipo I (Maiceros pequeños)	27	17.29
Type II (Major producers or Maize growers) / Tipo II (Productores mayores o Maiceros)	9	16.10
Type III (Subsistence or low-profile producers) / Tipo III (Productores de subsistencia o de bajo perfil)	7	13.72
Type IV (Mixed livestock-maize producers) / Tipo IV (Productores mixtos ganadería-maíz)	5	9.73
Type V (Corn-stubble or low profile II producers) / Tipo V (Productores maíz-rastrojo o bajo perfil II)	52	10.14

Source: Martinez et al. (2021) / Fuente: Martínez et al. (2021)

The results show that agricultural producer groups present diversity in their agricultural management systems, which include conventional, agroecological and mixed approaches. The “Small Maize Growers” stand out for their energy efficiency, while the “Large Producers” have a similar efficiency, although they are less represented (Table 1).

“Corn-stubble producers”, although they are the largest group, face a negative impact on soil recovery and energy efficiency due to their commercialization of stubble. On the other hand, the “Mixed maize-livestock producers” are less numerous and show even lower efficiency due to the low use of industrial inputs and the presence of unproductive soils (Table 1).

In La Frailesca, the remarkable diversity of local maize stands out, which not only serves to conceptualize the term, but also to characterize the agricultural producers and their contribution to preservation (Guevara et al., 2019, 2020, 2021). Some varieties have an ancestral history, while others have emerged from mixtures with new individuals and selections for morphoagronomic, sociocultural and consumption characteristics, which helps to preserve their identity and genes (Guevara & Mariaca, 2023; Gómez-Padilla et al., 2024).

Arias et al. (2022; 2023) characterized 80 family production units in 20 communities of the Frailesca, highlighting that families with greater collective participation and older people achieve a balance in the protection of local maize. However, young people tend to prioritize more profitable activities, such as livestock, hybrid maize, and coffee, which represents a significant risk for this tradition.

The diversification of maize production systems goes beyond a production modality, integrating general and

grano superan los 26 millones de toneladas al año. De esta cantidad, el estado de Chiapas aporta 1.4 millones de toneladas (SIAP, 2024). En el territorio chiapaneco, la región Frailesca establece siembras anuales que sobrepasan las 61 000 ha con un rendimiento medio de 3.45 t·ha⁻¹ y producciones de más de 205 000 t, lo que la convierte en una de las regiones más productoras del estado (SIAP, 2024).

En La Frailesca, el uso excesivo de agroquímicos y pesticidas, junto con la deforestación acelerada, ha desencadenado procesos de degradación en los suelos y una notable disminución de su capacidad productiva (Bernal et al., 2020). Debido a estas razones, se ha documentado un incremento en la implementación de sistemas mixtos, donde se integra la ganadería y la producción agrícola como estrategia y componente fundamental en el aseguramiento de la sustentabilidad y el sustento familiar (Caballero-Salinas et al., 2017).

Dentro del contexto de estas formas de producción, se han identificado variantes comunes y particulares. En estudios realizados por Martínez et al. (2021), se tipificaron grupos de productores, en función de componentes como: rendimiento y eficiencia, perfil maíz y consumo energético (Cuadro 1).

Los resultados muestran que los grupos de productores presentan diversidad en sus sistemas de manejo agrícola, que incluyen enfoques convencionales, agroecológicos y mixtos. Los “Maiceros pequeños” destacan por su eficiencia energética, mientras que los “Productores mayores” tienen una eficiencia similar, aunque están menos representados (Cuadro 1).

Los “Productores maíz-rastrojo”, aunque son el grupo más grande, enfrentan un impacto negativo en la

specific factors in the approaches and practices that farmers and ranchers employ for their livelihood and development. This should be considered in studies, using quantitative and qualitative variables under a systemic approach.

In the Frailesca region, the maize agroecosystem is intrinsically linked to the livestock sector. One of its most outstanding aspects is its dynamic capacity to integrate both systems, playing a crucial role in agricultural production and family economic support at local and regional levels. What many consider to be agricultural and livestock practices has evolved into a more complex approach, with diverse functions and benefits that require in-depth study due to their implications.

Stubble: from cultural practice to a systemic vision

Importance of stubble in livestock farming

In regions with prolonged periods of drought and a scarcity of local pastures, livestock farming faces the challenge of maintaining feed support throughout the year. This makes it essential to introduce external inputs that make the production process more expensive (Caballero-Salinas et al., 2017). In this context, maize becomes relevant due to the use of crop residues, known as stubble or residues (Reyes et al., 2013).

Maize harvesting generates large amounts of stubble, which represents a potential for a wide range of uses. According to studies, the stubble/grain yield ratio for maize is approximately 46.6% grain production and 53.4% stubble (Reyes et al., 2013). In the Frailesca region of Chiapas, 52% of agricultural producers combine maize cultivation with the use of stubble as part of agricultural management. However, this does not always improve energy efficiency (Martínez et al., 2021), which raises questions about the factors that influence stubble use in terms of efficiency and sustainability.

Temporality and its impact

The use of stubble also depends on the seasonality. It is manifested when three elements coincide: 1) Availability of stubble and weeds in agricultural soils; 2) Low or no availability of pastures in paddocks; and 3) The constant demand for feed in the livestock herd. These elements are usually evident during the period from December to May, when stubble becomes more important (Reyes et al., 2013).

Stubble as an agroecosystem

Generally, stubble is associated with the practice of stubble cultivation, either through direct grazing or as fodder (Vargas et al., 2023). However, only 27% of the

recuperación de suelos y eficiencia energética debido a su comercialización de rastrojos. Por su parte, los “Productores mixtos maíz-ganadería” son menos numerosos y muestran una eficiencia aún menor por el bajo uso de insumos industriales y la presencia de suelos poco productivos (Cuadro 1).

En la Frailesca, destaca la notable diversidad de maíces locales, la cual no solo sirve para conceptualizar el término, sino también para caracterizar a los productores y su contribución a la preservación (Guevara et al., 2019, 2020, 2021). Algunas variedades tienen una historia ancestral, mientras que otras han surgido de mezclas con nuevos individuos y selecciones por características morfoagronómicas, socioculturales y de consumo, lo que ayuda a preservar su identidad y genes (Guevara & Mariaca, 2023; Gómez-Padilla et al., 2024).

Arias et al. (2022; 2023) caracterizaron 80 unidades de producción familiar en 20 comunidades de la Frailesca, resaltando que las familias con mayor participación colectiva y personas mayores logran un equilibrio en la protección de los maíces locales. Sin embargo, los jóvenes tienden a priorizar actividades más rentables, como la ganadería, los maíces híbridos y el café, lo que representa un riesgo significativo para esta tradición.

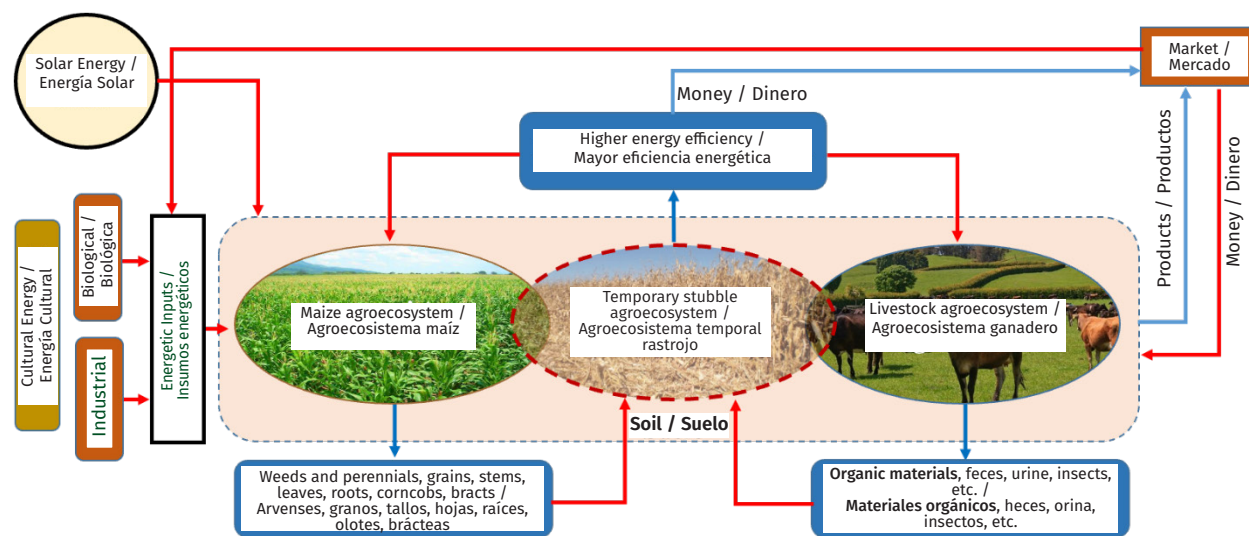
La diversificación de los sistemas de producción de maíz va más allá de una modalidad de producción, integrando factores generales y específicos en los enfoques y prácticas que los agricultores y ganaderos emplean para su subsistencia y desarrollo. Esto debe considerarse en los estudios, utilizando variables cuantitativas y cualitativas bajo un enfoque sistémico.

En la Frailesca, el agroecosistema maíz está intrínsecamente vinculado al sector ganadero. Uno de sus aspectos más destacados es la capacidad dinámica de integrar ambos sistemas, desempeñando un papel crucial en la producción agropecuaria y el sustento económico familiar a nivel local y regional. Lo que muchos consideran prácticas agrícolas y ganaderas ha evolucionado hacia un enfoque más complejo, con diversas funciones y beneficios que requieren un estudio profundo por sus implicaciones.

El rastrojo: de práctica cultural a una visión sistémica

Importancia del rastrojo en la ganadería

En regiones con periodos prolongados de sequía y escasez de pastos locales, la ganadería enfrenta el desafío de mantener un soporte alimenticio durante todo el año. Esto hace imprescindible la introducción de insumos externos que encarecen el proceso productivo (Caballero-Salinas et al., 2017). En este con-



Source: Self-made. / Fuente: Elaboración propia

Figure 1. Temporary stubble agroecosystem. Subsystems, elements, interactions and energy flow.
Figura 1. Agroecosistema temporal rastrojo. Subsistemas, elementos, interacciones y flujo de energía.

stubble is used for this purpose, indicating that there are other alternatives (Reyes et al., 2013). In Frailesca, the stubble is incorporated into the soil as part of conservation agriculture practices, sold in bales or leased for cattle grazing, and totomoxtle (corn cob bracts) is marketed for both animal feed and to make handicrafts.

From a systemic perspective, the concept of stubble agroecosystem allows us to better understand the current productive context and how this element acts as a bridge between maize agricultural production and the livestock sector. When analyzing stubble as an agroecosystem, it is essential to define its objectives, limits, inputs, outputs, components and interactions. In this way, stubble stands as a crucial element for the study of the energy flow of both agroecosystems, linking their dynamics and potentially making them more efficient (Figure 1).

Key elements of the stubble agroecosystem

Limits

The stubble agroecosystem is an open, dynamic and temporal system, which implies limitations in space, time and culture. On the one hand, there is a spatial limit that encompasses the maize and livestock agroecosystems; on the other hand, a temporal limit that defines the period of manifestation, and finally, a limit associated with the diversity of uses.

Inputs and Outputs

In the stubble agroecosystem, the main inputs are

texto, el maíz cobra relevancia por el aprovechamiento de los restos de cosecha, conocidos como rastrojos o esquilmos (Reyes et al., 2013).

La cosecha de maíz genera grandes cantidades de rastrojo, que representan un potencial de usos muy diversos. Según estudios, la relación del rendimiento de rastrojo/grano para maíz es de aproximadamente 46.6 % de producción de grano y 53.4 % de rastrojo (Reyes et al., 2013). En la Frailesca de Chiapas, el 52 % de los productores combinan el cultivo de maíz con el uso del rastrojo como parte del manejo agrícola. Sin embargo, esto no siempre mejora la eficiencia energética (Martínez et al., 2021), lo que plantea interrogantes sobre los factores que influyen en el aprovechamiento del rastrojo en términos de eficiencia y sostenibilidad.

Temporalidad y su impacto

La utilización del rastrojo también depende de la temporalidad. Se manifiesta cuando coinciden tres elementos: 1) Disponibilidad del rastrojo y arvenses en los suelos agrícolas; 2) Baja o ninguna disponibilidad de pasturas en los potreros; y 3) La constante demanda de alimentos en el hato ganadero. Estos elementos suelen ser evidentes durante el periodo de diciembre a mayo, momento en el que el rastrojo cobra mayor relevancia (Reyes et al., 2013).

El rastrojo como agroecosistema

Generalmente, el rastrojo se asocia a la práctica del rastrojeo, ya sea mediante pastoreo directo o como forraje (Vargas et al., 2023). Sin embargo, solo el 27 %

agricultural land and residual biomass of the maize agroecosystem, as well as some of its by-products. Supplies such as the necessary labour for cutting, packing and transporting the biomass are also considered inputs. The main outputs are biomass, which depends on the cultural component and is manifested as follows:

- Biomass incorporated into the soil for the maize agroecosystem.
- Biomass of agricultural area exported as a component to the livestock agroecosystem.
- Biomass exported as animal feed.
- Biomass exported for other uses.

The first two variants generate internal flows and cycles in a higher holarchy of the integrated agroecosystem, while the last two are consistent with extractive processes that contribute directly to profitability (Figure 1). Inputs are determined by solar (ecological) energy and cultural energy (inputs and labor) required by the maize, livestock and stubble agroecosystems themselves (Figure 1).

Components

The temporary stubble agroecosystem includes maize cultivation, livestock activity and soil management as subsystems. Linear, competitive, regulatory and cyclical relationships are established among them. (Figure 1).

The subsystems generate products or by-products that are used within the system or that constitute outputs that transcend their limits, generating additional income and allowing the return of part of the energy to the agroecosystem.

The maize subsystem: Essentially provides the soil with residual biomass of maize and weeds, from which, depending on the cultural factor, different configurations are presented. It mainly generates dry grain that is marketed or incorporated into the livestock subsystem as feed. If part of the maize is harvested as corn, the remaining biomass is also used in the livestock agroecosystem or marketed. The presence of weeds is crucial, since they constitute green and fresh biomass that grazing cattle prefer for feed, along with the maize kernels scattered on the ground at the end of the harvest (Reyes et al., 2013).

The livestock subsystem: Generates organic material that is used in the maize subsystem for soil fertilization or is marketed. This subsystem provides products

del rastrojo se utiliza para este fin, lo que indica que existen otras alternativas (Reyes et al., 2013). En la Frailesca, el rastrojo se incorpora al suelo como parte de las prácticas de agricultura de conservación, se vende en pacas o se arrienda el terreno para el pastoreo de ganado, y se comercializa el totemoxtle (brácteas de la mazorca) tanto para alimentar a los animales como para elaborar artesanías.

Desde una perspectiva sistémica, el concepto de agroecosistema rastrojo permite comprender mejor el contexto productivo actual y cómo este elemento actúa como un puente entre la producción agrícola de maíz y el sector ganadero. Al analizar el rastrojo como un agroecosistema, es fundamental definir sus objetivos, límites, entradas, salidas, componentes e interacciones. De esta manera, el rastrojo se erige como un elemento crucial para el estudio del flujo energético de ambos agroecosistemas, uniendo sus dinámicas y potencialmente haciéndolos más eficientes (Figura 1).

Elementos clave del agroecosistema rastrojo

Límites

El agroecosistema rastrojo es un sistema abierto, dinámico y temporal, lo que implica limitaciones en espacio, tiempo y cultura. Por un lado, existe un límite espacial que abarca los agroecosistemas de maíz y ganadería; por otro, un límite temporal que define el periodo de manifestación, y finalmente, un límite asociado a la diversidad de usos.

Entradas y Salidas

En el agroecosistema rastrojo, las entradas fundamentales son el terreno agrícola y la biomasa residual del agroecosistema maíz, así como algunos de sus subproductos. También se consideran entradas los insumos y el trabajo necesario para el corte, empaque y transporte de la biomasa. Las salidas principales son la biomasa, que depende del componente cultural y se manifiesta de la siguiente manera:

- Biomasa incorporada al suelo para el agroecosistema de maíz.
- Biomasa de área agrícola exportada como componente al agroecosistema ganadero.
- Biomasa exportada como alimento animal.
- Biomasa exportada para otros usos.

Las dos primeras variantes generan flujos y ciclos

such as milk, meat and cheese, which are taken to the market for trade, allowing part of these monetary resources to enter the agroecosystem again for reproduction.

Conceptualization of the temporary stubble agroecosystem

The stubble agroecosystem of the Frailesca region is an open, temporary system, it manifests itself when there is a prolonged drought and disappears when the rainy season begins. It is dynamic, due to the temporality in its manifestation, the availability of the stubble product and the diversity associated with the practice of its use.

The vision and conceptualization of stubble as an agroecosystem is of fundamental importance in the analysis and interpretation of the complex socio-productive and environmental dynamics that characterize a highly complex environment. This perspective not only lays the essential foundations for future research, but also advocates an interdisciplinary and holistic approach. Its main objective is to advance the understanding and implementation of improvements in the agricultural sector, especially in tropical regions.

Conclusions

The conceptual bases of the systemic and complexity paradigm have been fundamental to study and understand the agroecosystems of the Frailesca region of Chiapas. The study revealed that, through tools such as energy flow analysis and energy efficiency, improvements have been established in the functioning of these systems, as well as in the relationships between humans and their agricultural environment. Stubble manifests itself as a temporary agroecosystem that emerges during the dry season, the result of dynamic interactions between factors such as dry biomass after the maize harvest, the scarcity of pastures in the paddocks and the need for livestock feed. These findings underscore the importance of an integrated and sustainable management of agricultural resources in the region.

Acknowledgements

We are grateful to CONAHCYT for the scholarship granted to the first author to pursue postgraduate studies at DOCAS at UNACH. We would also like to thank ICTIECH for partially financing this research through the project: *Rescue of germplasm of the milpa agroecosystem through agrobiodiversity fairs in La Frailesca*, Chiapas; and coordinated by the second author.

End of English version

internos en una holarquía superior del agroecosistema integrado, mientras que las últimas dos son consistentes con procesos extractivos que aportan directamente a la rentabilidad (Figura 1). Las entradas están determinadas por la energía solar (ecológica) y la energía cultural (insumos y trabajo) requeridas por los agroecosistemas de maíz, ganadería y el rastrojo propiamente dicho (Figura 1).

Componentes

El agroecosistema temporal rastrojo incluye como subsistemas el cultivo de maíz, la actividad ganadera y el manejo del suelo. Entre estos, se establecen relaciones lineales, de competencia, de regulación y cíclicas (Figura 1).

En los subsistemas se generan productos o subproductos que se utilizan dentro del sistema o que constituyen salidas que trascienden sus límites, generando ingresos adicionales y permitiendo el retorno de parte de la energía al agroecosistema.

El subsistema maíz: aporta esencialmente el suelo con biomasa residual de maíz y plantas arvenses, a partir de la cual, según el factor cultural, se presentan diferentes configuraciones. Se genera principalmente grano seco que se comercializa o se incorpora al subsistema ganadería como alimento. Si parte del maíz se cosecha como elote, la biomasa remanente se utiliza de igual forma en el agroecosistema ganadero o se comercializa. La presencia de arvenses es crucial, ya que constituyen biomasa verde y fresca que el ganado en pastoreo prefiere para su alimentación, junto con los granos de maíz esparcidos en el suelo al finalizar la cosecha (Reyes et al., 2013).

El subsistema ganadero: Genera material orgánico que se utiliza en el subsistema de maíz para la fertilización del suelo o se comercializa. Este subsistema aporta productos como leche, carne y queso, que se llevan al mercado para su comercio, permitiendo que parte de estos recursos monetarios ingresen nuevamente al agroecosistema para su reproducción.

Conceptualización del agroecosistema temporal rastrojo

El agroecosistema rastrojo de la región Frailesca, es un sistema abierto, temporal, se manifiesta cuando hay sequía prolongada y desaparece cuando inicia el periodo de lluvia. Es dinámico, por la temporalidad en su manifestación la disponibilidad del producto rastrojo y la diversidad asociada a la práctica de su aprovechamiento.

References / Referencias

- Aguilar, J. J. R., Aguilar, J. C. E., Guevara, H. F., Galdámez, G. J., Martínez, A. F., La O, A. M. A., Mandujano, C. H. O., Abarca, A. M. A., & Nahed, T. J. (2023). Classification and characterization of family cattle farming systems of the Frailesca region of Chiapas, Mexico, considering the contribution of cattle raising to family income. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(1). <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/4131>
- Arias, A. G. (2006). El concepto “energía” en la enseñanza de las ciencias. *Revista Iberoamericana de Educación*, 38(2). <https://rieoei.org/historico/deloslectores/1184gonzalez.pdf>
- Arias, Y. I., Guevara, H. F., La O, A. M. A., & Cadena, I. P. (2022). Caracterización y tipos de familias productoras de maíz local en la Frailesca, Chiapas. *CienciaUAT*, 16(2), 155-171. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v16i2.1525>
- Arias, Y. I., Guevara, H. F., La O, A. M. A., & Villegas, C. R. (2023). Caracterización de capitales tangibles en unidades de producción familiar con maíces locales en Chiapas, México. *Universidad y Sociedad*, 15(6), 446-455. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/4163>
- Artuzo, F. D., Allegretti, G., Santos, O. I. B., da-Silva, L. X., & Talamini, E. (2021). Emergy unsustainability index for agricultural systems assessment: A proposal based on the laws of thermodynamics. *Science of The Total Environment*, 759, 143524. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143524>
- Asociación Ganadera Local Villaflores(2023).MexicoPymes.[Enlínea]. Disponible en: [_https://mexicopymes.com/info/asociacion-ganadera-local-de-villaflores-A26C9B2076A06600](https://mexicopymes.com/info/asociacion-ganadera-local-de-villaflores-A26C9B2076A06600). Fecha de consulta: 8 de octubre de 2023.
- Becerra, G. (2020). La Teoría de los Sistemas Complejos y la Teoría de los Sistemas Sociales en las controversias de la complejidad. *Convergencia Revista de Ciencias Sociales*, 27, 1–23. <https://doi.org/10.29101/crcs.v27i83.12148>
- Bernal, J. L. C., Cuenca, L. A. B., & Ortega, Y. B. S. (2020). Producción ganadera: La deforestación y degradación del suelo, una estrategia para el desarrollo sostenible. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(1), 77-82. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/389>
- Bernués, A., Alfnes, F., Clemetsen, M., Olav, E. L., Faccioni, G., Ramanzin, M., Ripoll-Bosch R., Rodríguez, O. T., & Sturaro, E. (2019). Exploring social preferences for ecosystem services of multifunctional agriculture across policy scenarios. *Ecosystem Services*. 39:101-102. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101002>
- Blanco, P. I., Cantalapiedra, J., & Llonch, P. (2020). Impacto del cambio climático sobre el bienestar animal en los sistemas ganaderos. *Informacion Tecnica Economica Agraria*, 116(5). <https://doi.org/10.12706/itea.2020.028>
- Boulding, K. E. (1956). General Systems Theory—The Skeleton of Science. *Management Science*, 2(3), 197-208. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2.3.197>
- Caballero-Salinas, J. C., Moreno-Reséndez, A., Reyes-Carrillo, J. L., García-Valdez, J. S., López-Báez, W., & Jiménez-Trujillo, J. A. (2017). Competencia del uso del rastrojo de maíz en sistemas

La visión y conceptualización del rastrojo como agroecosistema adquiere una importancia fundamental en el análisis y la interpretación de las complejas dinámicas socioprodutivas y ambientales que caracterizan un entorno de elevada complejidad. Esta perspectiva no solo sienta las bases esenciales para futuras investigaciones, sino que también aboga por un enfoque interdisciplinario y holístico. Su objetivo principal es avanzar en la comprensión e implementación de mejoras en el sector agropecuario, especialmente en las regiones tropicales.

Conclusiones

Las bases conceptuales del paradigma sistémico y de la complejidad han sido fundamentales para estudiar y comprender los agroecosistemas de la región Frailesca de Chiapas. El estudio reveló que, mediante herramientas como el análisis del flujo energético y la eficiencia energética, se han establecido mejoras en el funcionamiento de estos sistemas, así como en las relaciones entre el hombre y su entorno agropecuario. El rastrojo se manifiesta como un agroecosistema temporal que emerge durante la época de sequía, resultado de interacciones dinámicas entre factores como la biomasa seca tras la cosecha de maíz, la escasez de pastos en los potreros y la necesidad de alimento para el ganado. Estos hallazgos subrayan la importancia de una gestión integral y sostenible de los recursos agropecuarios en la región.

Agradecimientos

Se agradece al CONAHCYT por la beca otorgada al primer autor para cursar los estudios de posgrado en el DOCAS de la UNACH. Al ICTIECH, por financiar parcialmente la presente investigación mediante el proyecto: *Rescate de germoplasma del agroecosistema milpa mediante ferias de agrobiodiversidad en la Frailesca, Chiapas*; y coordinado por el segundo autor.

Fin de la versión en español

- agropecuarios mixtos en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 91–104. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i1.74>
- Camacho-Vera, J. H., Vargas-Canales, J. M., Quintero-Salazar, L., & Apan-Salcedo, G. W. (2021). Características de la producción de leche en La Frailesca, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(3), 845–860. <https://doi.org/https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.5375>
- de Gortari-Rabiela, R., & Santos-Corral, M. J. (Coord.). (2019). Políticas globales y prácticas locales para el cuidado del medio ambiente: México, España y Estados Unidos. Bonilla Artigas Editores. <http://digital.casalini.it/9786078636242>

- de Aragón, M. B. (1995). La entropía y el buen uso de la energía. En *Temas de bioética ambiental* (pp. 65-83). Centro Editorial Javeriano. <https://n9.cl/8s3vr>
- de Franco, M. F.; & Solórzano, J. L. V. (2020). Paradigmas, enfoques y métodos de investigación: Análisis teórico. *Mundo Recursivo*, 3(1), 1-24. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8474590>
- FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF (2023). Versión resumida de El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2023. Urbanización, transformación de los sistemas agroalimentarios y dietas saludables a lo largo del continuo rural-urbano. Roma, FAO. <http://doi.org/10.4060/cc6550es>
- FAOSTAT (2022). Conjunto de indicadores de la seguridad alimentaria. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/FS>
- García, L. V., & Giraldo, O. F. (2021). Redes y estrategias para la defensa del maíz en México. *Revista mexicana de sociología*, 83(2), 297-329. <https://doi.org/https://doi.org/10.22201/iis.01882503p.2021.2.60086>
- Giménez, G. D., Novaira, B. I., & Marini, P. R. (2022). Análisis energético en lecherías de la región pampeana Argentina. Parte 1. Flujos de energía. *Agronomy Mesoamerican*. 33(3). 49024. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/download/49024/51364?inline=1>
- Gómez-Padilla, E. J., Llaven-Martínez, J., Gómez-Padilla, E., La O-Arias, M. A., & Guevara-Hernández, F. (2024). Caracterización de maíces locales de la región Frailesca de Chiapas: diversidad morfológica y productiva. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 4(2), 1-16. <https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.04.04>
- Guba, E., & Lincoln, Y. (2002). Paradigmas en competencia en la investigación cualitativa. Por los rincones. *Antología de métodos cualitativos en la investigación social*, 113-145. https://santototunja.edu.co/cong/images/curso/guba_y_lincoln_2002.pdf
- Guevara, H. F., & Mariaca, M. R. (2023). Importancia actual de los maíces locales (*Zea mays* L.): Aportes y reflexiones etnobotánicas desde Chiapas, México. *Universidad y Sociedad*, 15(6), 438-445. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/4162>
- Guevara, H. F., Hernández, R. M. A., Basterrechea, B. J. L., Fonseca, F. M. A., Delgado, R. F., Ocaña, G. M. J., & Acosta, R. R. (2020). Riqueza de maíces locales (*Zea mays* L.) en la región Frailesca, Chiapas, México: Un estudio etnobotánico. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 37(3), 223-243. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7499570>
- Guevara, H. F., Hernández, R. M. A., Basterrechea, B. J. L., Pinto, R. R., Venegas, V. J. A., Rodríguez, L. L. A., & Cadena, I. P. (2019). Maíces locales; una contextualización de identidad tradicional. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 51(1), 369-381. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-86652019000100026&script=sci_arttext&tlng=en
- Guevara, H. F., Hernández, R. M. A., Ortiz, P. R. H., Acosta, R. R., Rosabal, A. L., La O, A. M. A., Pinto, R. R., Martínez, A. F. B., & Reyes, S. M. B. (2021). Maíces locales de la Frailesca chiapaneca: diversidad, usos múltiples y distribución. Ediciones Inca y Unidad de divulgación científica-UNACH-UNACH-Red de estudios para el desarrollo Rural A.C. <https://n9.cl/wf3lt>
- Guevara-Hernández, F., Delgado-Ruiz, F., La O-Arias, M. A., Rodríguez-Larramendi, L. A., Ortiz-Pérez, R., Delgado-Ruiz, J. A., Venegas-Venegas, J. A., & Pinto-Ruiz, R. (2018). Análisis comparativo energético-económico del agroecosistema maíz del bajo prácticas convencionales y de conservación en la región Frailesca, Chiapas, México. *Revista de La Facultad de Agronomía (LUZ)*, 35, 343-364. http://revfacagronluz.org.ve/PDF/articulos/201835/3/2018353_343-364.pdf
- Guevara-Hernández, F., Pinto-Ruiz, R., Camacho-Villa, T. C., Reyes-Muro, L., & Fonseca-Flores, M. de los Á. (2013). Usos múltiples de los rastrojos: soluciones diversas. In M. L. Reyes, V. T. C. Camacho, & H. F. Guevara (Eds.), *Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México* (1st ed., pp. 188-206). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. https://www.researchgate.net/publication/263011380_Rastrojos_manejo_uso_y_mercado_en_el_centro_y_sur_de_Mexico
- Guevara-Hernández, F., Rodríguez-Larramendi, L. A., Hernández-Ramos, M. A., Fonseca-Flores, M. de los Á., Pinto-Ruiz, R., Reyes-Muro, L., Guevara-Hernández, F., Rodríguez-Larramendi, L. A., Hernández-Ramos, M. A., Fonseca-Flores, M. de los Á., Pinto-Ruiz, R., & Reyes-Muro, L. (2015). Eficiencia energética y económica del cultivo de maíz en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera "La Sepultura", Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(8), 1929-1941. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342015000801929&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Guevara-Hernández, H. F. (2007). ¿Y después qué?... action-research and ethnography on governance, actors and development in Southern Mexico. Wageningen University and Research. <https://n9.cl/l4oh3>
- Hernández, R. R., Armstrong, A., Burney, J., Ryan, G., Moore-O'Leary, K., Diédhiou, I., Grodsky, S. M., Saul, G. L., Davis, R., & Macknick, J. (2019). Techno-ecological synergies of solar energy for global sustainability. *Nature Sustainability*, 2(7), 560-568. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0309-z>
- Herrán, A., M., Guevara, H. F., La O, A. M. A., Mandujano, C. H., Nahed, T. J., & Aguilar, J. J. (2023). Evolution of conventional to diversified livestock production systems in the Mexican tropics. *Revista de La Facultad de Agronomía de La Universidad Del Zulia*, 40 (Supplement), e2340Spl06-e2340Spl06. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v40.supl.06](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v40.supl.06)
- Kumar, Ch. M. S., Singh, S., Gupta, M. K., Nimdeo, Y. M., Raushan, R., Deorankar, A. V., Kumar, T. M. A., Rout, P. K., Chanotiya, C. S., Pakhale, V. D., & Nannaware, A. D. (2023). Solar energy: A promising renewable source for meeting energy demand in Indian agriculture applications. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 55, 102905. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102905>
- Lorenzón, E. E. (2020). *Sistemas y Organizaciones*. Libros de Cátedra. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://doi.org/10.35537/10915/99629>

- Maldonado, C. E. (2022). Teoría de los problemas complejos. *Cinta de Moebio*, 74, 109–120. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/s0717-554x2022000200109>
- Martínez, A. F. B., Guevara, H. F., La O, A. M. A., Aguilar, J. C. E., Rodríguez, L. L. A., & Pinto, R. R. (2021). Tipificación socio-agronómica y energética de productores de maíz en la región Frailesca, Chiapas, México. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 38(1), 176–198. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v38.n1.09](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v38.n1.09)
- Martínez, S. M. F., Cruz, R. L. F., Flores, M. L. J., García, N. N. Y., & Reyes, Á. T. (2022). Segunda Ley de la Termodinámica. *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río*, 9(18), 48–51. <https://doi.org/10.29057/estr.v9i18.8900>
- Morin, E. (1995). *El pensamiento complejo*. Gedisa. Madrid.
- Morin, E. (1999). Los siete saberes necesarios para la educación del futuro. UNESCO. <http://repositorio.minedu.gob.pe/handle/20.500.12799/1448>
- la Peña-Consuegra, G., & Velázquez-Ávila, R. M. (2018). Algunas reflexiones sobre la teoría general de sistemas y el enfoque sistémico en las investigaciones científicas. *Revista Cubana de Educación Superior*, 37(2), 31–44. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0257-43142018000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Purroy, V. R., Gallardo, L. F., Díaz, R. P., Ortega, J. E., López, O. S., & Torres, H. G. (2016). Flujo energético-económico como herramienta para tipificar agroecosistemas en el centro del estado de Veracruz, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(7), 91–101. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-90282016000100009&script=sci_abstract&tlng=pt
- Ramos, C. A. (2015). Los paradigmas de la investigación científica. *Avances en Psicología*, 23(1), 9–17. <https://doi.org/10.33539/avpsicol.2015.v23n1.167>
- Reyes, M. L., Camacho, V. T. C., & Guevara, H. F. (Eds.). (2013). *Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 7. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. i-viii, 1–242 p. https://www.researchgate.net/publication/263011380_Rastrojos_manejo_uso_y_mercado_en_el_centro_y_sur_de_Mexico
- Sachs, J. D., Schmidt, T. G., Mazzucato, M., Messner, D., Nakicenovic, N., & Rockström, J. (2019). Six transformations to achieve the sustainable development goals. *Nature sustainability*, 2(9), 805–814. <https://www.nature.com/articles/s41893-019-0352-9>
- Salinas-Vargas, D., Maldonado-Peralta, M. de los Á., Rojas-García, A. R., Graciano-Obeso, A., Ventura-Ríos, J., & Maldonado-Peralta, R. (2022). Evaluación de rastrojo y de grano en maíces nativos en Guasave Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(8), 1481–1488. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexa.v13i8.3354>
- Sampieri, R. H., & Mendoza, T. C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (Primera Edición). McGraw Hill México. pp. 753. ISBN: 978-1-4562-6096-5. <https://tinyurl.com/jhsn3tjw>
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2024). *Panorama agroalimentario: La ruta de la Transformación Agroalimentaria 2018-2024*. Edición, 2024. <https://n9.cl/y0i8pf>
- Unión Ganadera General Estatal de Chiapas (2023). *Unión Ganadera General Estatal de Chiapas*. Recuperado 7 de octubre de 2023, de <https://chiapasganado.wordpress.com/>
- United Nations General Assembly [UNGA] (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations: New York, NY, USA.
- Valdivieso-Pérez, I. A. (2019). Carne y leche: ciclo de vida y eficiencia energética en diferentes sistemas ganaderos del estado de Chiapas [El Colegio de la Frontera Sur]. <https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1017/2502>
- Vargas, L. S., González, A. B., Villanueva, J. L. J., Martínez, I. V., Huerta, H. V., Sánchez, C. C. D., & Ventura, M. Á. C. (2023). Dinámica del pastoreo en la asociación cultivos y ovinos de agroecosistemas de clima templado en México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 14(3), 572–591. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i3.6288>
- von Bertalanffy, L. (1968). *General system theory: Foundations, development, applications* (George Braziller).
- von Bertalanffy, L. (1975). *Perspectives on General System Theory: Scientific-philosophical Studies* (George Braziller).



EN

Diversity and cultural value of home gardens in División del Norte, Escárcega, Campeche

ES

Diversidad y valor cultural de los huertos en División del Norte Escárcega, Campeche

Mayra Iliana Rivas Martínez^{1*}; Ranulfo Cruz Aguilar¹; Alberto Pérez Fernández²; Cindy Patricia Sánchez Montejo¹

¹Universidad para el Bienestar Benito Juárez García, Sede Escárcega, Campeche, km 8 carretera Escárcega-Villahermosa, Escárcega, Campeche. CP. 24250

²Universidad Autónoma del Carmen, Avenida Aviación por 56, Campus "José Ortiz Ávila", Colonia Benito Juárez, Ciudad del Carmen, Campeche. CP. 24180

*Corresponding author: rivasmayra17@gmail.com ORCID ID: 0000-0003-2848-1005

Abstract

*Corresponding author:
rivasmayra17@gmail.com
ORCID ID: 0000-0003-2848-1005

Received: September 27, 2024

Accepted: February 15, 2025

Published online: March 24, 2025

Home gardens are a form of agriculture used by families to produce food for self-consumption. These spaces serve as reservoirs of agricultural biodiversity techniques and knowledge. This study was conducted in the community of División del Norte, Escárcega, Campeche, analyzing various characteristics of home gardens, such as botanical composition, structure, uses, and diversity using the Shannon-Weaver index and the Simpson index. Additionally, the cultural importance index was calculated. A total of 40 semi-structured interviews were conducted with garden owners directly in their homes. The size of the home gardens ranged from 10 to 2 000 m². Biodiversity in the home gardens included 96 plant species and six domestic animal species. Among the plant species, 46 families and 77 genera were identified, with herbaceous species being the most predominant. The Shannon-Weaver diversity index was 1.8, while the Simpson index was 0.022. The cultural importance index indicated that the most valued species among residents were lemon (*Citrus limon* L.), avocado (*Persea americana* Mill.), sour orange (*Citrus aurantium* L.), mango (*Mangifera indica* L.), and spearmint (*Mentha spicata* L.). Food production and medicinal uses were the primary purposes of these home gardens, which were primarily composed of herbaceous species. The slightly low biodiversity index reflects species selection based on owners' preferences, a pattern that differs from natural ecosystems with minimal human intervention.

Keywords: Agroforestry, peasant agriculture, tropical diversity, food sovereignty.

Resumen

Los huertos de traspatio son una forma de agricultura utilizada por las familias para la obtención de alimentos de autoconsumo; estos espacios son reservorios de técnicas y saberes de agrobiodiversidad. El presente estudio se realizó en la comunidad de División del Norte, Escárcega, Campeche, en la cual se analizaron las características que poseían los huertos tales como: composición botánica, estructura, usos, la diversidad a través del índice de Shannon-Weaver y el índice de Simpson, además se calculó el índice de importancia cultural. Para lo cual se llevaron a cabo 40 entrevistas semiestructuradas a los propietarios directamente en sus domicilios. El tamaño de los huertos varía de 10 hasta 2 000 m². La biodiversidad en los huertos registró 96 especies vegetales y seis de animales domésticos; de las especies vegetales se identificaron 46 familias y 77 géneros, predominando las especies herbáceas. El índice de diversidad de Shannon-Weaver fue de 1.8 y el índice de Simpson de 0.022. El índice de valor cultural refleja que las especies: limón (*Citrus limon* L.), aguacate (*Persea americana* Mill.), naranja agria (*Citrus aurantium*



Please cite this article as follows (APA 7): Rivas Martínez, M. I., Cruz Aguilar, R., Pérez Fernández, A., & Sánchez Montejo, C. P. (2025). Diversity and cultural value of home gardens in División del Norte, Escárcega, Campeche. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 5, e202402. <https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.05.02>

L.), mango (*Mangifera indica* L.), hierba buena (*Mentha spicata* L.) tienen el mayor valor para los pobladores. La alimentación y medicina son los principales objetivos que tienen los huertos en la comunidad con especies principalmente herbáceas. El índice de biodiversidad ligeramente bajo refleja la selección de especies por los intereses de los propietarios, lo cual no sucede en un ecosistema natural con mínima intervención.

Palabras clave: Agroforestería, agricultura campesina, diversidad tropical, soberanía alimentaria.

Introduction

Mexico is one of the world's ten megadiverse countries and is considered one of the most floristically rich regions. It harbors between 10 % and 17 % of the world's biota and 5 % of the planet's cultural diversity (Rzedowski, 1978; Toledo & Ordóñez, 1993; Conabio, 2010). This biodiversity is largely the result of the invaluable work of peasants and is found in various agroecosystems that contribute to global food production. However, from 1900 to the present, approximately 75 % of the genetic diversity of cultivated plants has been lost (FAO, 2016). This decline is a consequence of selection practices by producers and laboratory modifications aimed at developing improved seeds. These modifications seek to produce higher-yielding plants to meet the increasing demand for food, because native seeds often have yields that are not economically viable (Oliveira-de Sousa & Gonçalves-Rocha, 2021). It is estimated that by 2050, food demand will rise by at least 60 % compared to 2006 levels, driven by global population growth (FAO, 2016; ONU, 2017).

Between 1980 and 2010, Mexico's population nearly doubled, rising from 66 to 112 million. This trend was reflected in urban areas, where the population grew from 44 to 86 million, while the rural population increased more modestly from 22 to 26 million, reducing its share to 30 % of the total population (INEGI, 2010). According to the most recent census, the population reached 126 014 024 (INEGI, 2020), meaning it increased by approximately 14 million people. As a result, feeding this growing population requires governmental and social strategies to address malnutrition and hunger, as well as efforts to protect local plant and animal genetic resources.

In response to this growing demand, Mesoamerican communities have developed strategies to feed not only their families but also an expanding society. There is a wide variety of agroecosystems and agroforestry systems, conceptualized through traditional agricultural technology. This is defined as the cultural elements derived from the empirical knowledge accumulated by rural ethnic groups over thousands of years in their efforts to utilize renewable natural resources through

Introducción

México es uno de los 10 países megadiversos del mundo, es considerado como una de las zonas florísticamente más ricas, concentra de 10 a 17 % de la biota mundial y 5 % de la diversidad cultural del planeta (Rzedowski, 1978; Toledo & Ordóñez, 1993; Conabio, 2010). Esta biodiversidad se debe a la gran tarea realizada por los campesinos, y se encuentra en diferentes agroecosistemas que son parte de la alimentación de la humanidad. Sin embargo, de 1900 a la actualidad, se ha perdido alrededor del 75 % de la diversidad genética de las plantas cultivadas (FAO, 2016) esto como resultado de la selección generada por los productores y la modificación en laboratorio para obtener semillas mejoradas, con la intención de obtener plantas con mayores rendimientos que permitan dar solución al aumento en la demanda de alimentos (debido a que las semillas nativas tienen rendimientos que no son rentables económicamente) (Oliveira-de Sousa & Gonçalves-Rocha, 2021): se prevé que para 2050 dicha demanda aumente al menos 60 % por encima de los niveles de 2006, impulsada por el crecimiento demográfico (FAO, 2016; ONU, 2017).

En México, particularmente, de los años de 1980 a 2010, la población casi se duplicó pasando de 66 a 112 millones de habitantes, cuyo patrón fue replicado por la población urbana, al pasar de 44 a 86 millones, mientras que la población rural creció de 22 a 26 millones; su proporción bajó a 30 % de la población total (INEGI, 2010). En este último censo la población es de 126 014 024 (INEGI, 2020), esto quiere decir que se incrementó la población en aproximadamente 14 millones. Por tanto, la alimentación de esta población necesita estrategias gubernamentales y sociales para contrarrestar los problemas de desnutrición y hambre. Así como de la protección de los recursos fitogenéticos y zoogenéticos locales.

Ante este contexto, las comunidades de Mesoamérica han realizado estrategias para alimentar no solo a las familias, sino también a una sociedad que año con año está creciendo. Existen diversidad de agroecosistemas o sistemas agroforestales, esto se conceptualiza a través de la tecnología agrícola tradicional, defi-

gh agricultural, livestock, forestry, and wildlife-based practices to meet human needs for subsistence, social development, and economic growth. (Hernández & Ramos, 1977). This concept is an integral part of the strategies implemented by society and takes shape in complex agroecosystems such as home gardens.

Home gardens hold significant social and cultural value for their owners. In addition to providing food, medicinal plants, ornamental species, ritualistic elements, and commercial products (Castañeda et al., 2020), they play a crucial role in biodiversity conservation, food security, and the provision of ecosystem services. These services include temperature reduction, air circulation, and increased faunal diversity, among others (Montañez-Escalante et al., 2014). In these spaces, peasants exchange raw materials between different garden subunits to optimize space, water, and reduce production costs (Colín et al., 2012). A closer examination reveals a diverse composition of trees, shrubs, herbs, and fungi, which together shape the structure and function of these agroecosystems (Montañez-Escalante et al., 2014).

The analysis of home gardens is compared through their floristic diversity, richness, and structure to study their complexity, which is linked to specific environmental, economic, social, and cultural contexts. Characterization of home gardens in the country has been conducted from different perspectives: edaphoclimatic, biological, and cultural, leading to a better understanding through various case studies (Calvet et al., 2014; García et al., 2016).

This initial approach to the analysis of home gardens indicates that variations in certain ecological parameters (richness, structure, and diversity) are related to the characteristics of the vegetation and the location of the garden (Jiménez, 2007), as well as the traditional knowledge possessed by the owners (Castañeda-Guerrero et al., 2020), when considering the value of these metrics between urban and rural home gardens (Pagaza, 2008).

For example, in the town of Nolo, in the municipality of Tixkokob, Yucatán, 171 species and high plant diversity ($H = 4.26$) were recorded (Salazar et al., 2015). In contrast, urban gardens in Puebla, situated in an anthropogenic landscape with relicts of tropical forest, are estimated to contain 361 species, with diversity values ranging from $H' = 0.873$ to $H' = 3.92$ (Castañeda-Guerrero et al., 2020). In the southern region of the state of Morelos, according to Tegoma et al. (2023), the diversity recorded in these rural home gardens is considerably high ($H' = 3.08$), suggesting that these socially constructed systems serve as reservoirs of agrobiodiversity in the southern region of the state.

nida como: aquellos elementos culturales emanados del conocimiento empírico acumulado por las etnias rurales durante miles de años, en sus intentos de utilizar los recursos naturales renovables por medio de las explotaciones agrícolas, pecuarias, forestales y faunísticas para obtener los satisfactores antropocéntricos para su subsistencia y desarrollo social y económico (Hernández & Ramos, 1977). Este concepto forma parte de las estrategias que la sociedad realiza y se materializa en agroecosistemas complejos como los huertos familiares.

Los huertos familiares son espacios de gran importancia social y cultural para sus poseedores, además de proveerlos de productos alimentarios, medicinales, de ornato, rituales y comerciales (Castañeda et al., 2020), son relevantes para la conservación de la biodiversidad, la seguridad alimentaria y la dotación de servicios ecosistémicos como, la reducción de la temperatura, circulación del aire, incremento de la diversidad faunística, entre otros (Montañez-Escalante et al., 2014). En estos espacios, los campesinos realizan los intercambios de materias primas entre las subunidades del huerto porque optimizan el aprovechamiento del espacio, del agua y reducen los costos de producción (Colín et al., 2012). Observando con detalle, se pueden identificar diferentes árboles, arbustos, hierbas, hongos, que en conjunto dan forma y estructura a estos espacios (Montañez-Escalante et al., 2014).

El análisis de los huertos familiares se compara a través de su diversidad florística, riqueza y estructura, como una forma de estudio de su complejidad que se relaciona con contextos ambientales, económicos, sociales y culturales específicos. La caracterización de los huertos se ha realizado en el país bajo diferentes aspectos: edafoclimáticos, biológicos y culturales, lo que lleva a entender diferentes estudios de caso (Calvet et al., 2014; García et al., 2016).

Esta primera aproximación de análisis de los huertos familiares, indica que la variación en algunos parámetros ecológicos (riqueza, estructura y diversidad) está relacionada con las características de la vegetación y el lugar de establecimiento (Jiménez, 2007), así como el conocimiento tradicional que poseen los propietarios (Castañeda-Guerrero et al., 2020), al considerar el valor de estas métricas entre huertos urbanos y rurales (Pagaza, 2008).

Por ejemplo, en la localidad de Nolo, municipio de Tixkokob, Yucatán, se encuentran 171 especies y una alta diversidad vegetal ($H = 4.26$) (Salazar et al., 2015), en tanto que, en los huertos urbanos de Puebla, inmersos en un paisaje antrópico con relictos de selva mediana y alta, la riqueza florística se estima en 361

Another approach to studying home gardens is based on their socioeconomic characteristics, particularly in relation to food sovereignty. This leads to an analysis based on the peasants or local actors who manage the family garden. A study conducted in San Andrés Nicolás Bravo, Estado de México, found that the richness of fruit species in home gardens is related to their use, the family's religion, and the characteristics of the person responsible for the garden. The age and size of the garden did not influence species richness, nor did the gender of the responsible individual (Guadarrama & Chávez, 2023). Another study in the state of Morelos reported 45 plant species and two varieties, with multiple uses, as well as three domestic animals, two pets, and a pack animal (Monroy et al., 2016).

The aim of this document is to analyze the diversity and cultural value of home gardens in the community of División del Norte, Escárcega, Campeche, using the Shannon and Simpson Index methods. The goal is to understand their floristic composition, diversity, and the value placed on the species within these home gardens. It is important to note that food sovereignty relies on these agroforestry systems. Therefore, their promotion and improvement are essential for the communities in the southern part of the state of Campeche. Hypothetically, it can be inferred that these gardens are spaces rich in species, structurally defined, and endowed with values assigned by society to the plant and animal species that comprise them.

Methodological Approach

Study area location

The study was conducted in the community of División del Norte, located in the municipality of Escárcega, Campeche (Figure 1), in May 2024. The climate is warm-subhumid with summer rains. The average annual temperature ranges between 26 and 28 °C. Precipitation varies from 1 100 to 1 500 mm, with the highest rainfall recorded from June to October, during which thunderstorms are also common (Gobierno del Estado de Campeche, 2010). According to INEGI (2020), the locality is considered the second largest in the municipality of Escárcega, with a total of 1 164 households.

Regarding the vegetation, it is classified as tropical forest. The medium semi-evergreen forest is a plant community where the average height of the plants is less than 30 meters, and during the dry season, they shed their leaves. In tropical deciduous forests, vegetation is shorter, reaching less than 15 meters in height. This vegetation also sheds its leaves during the dry season. Finally, the fauna consists of various species that can also be found in other regions. Among

especies, con una variación en la diversidad de $H' = 0.873$ a $H' = 3.92$ (Castañeda-Guerrero et al., 2020). En el sur del estado de Morelos, según Tegoma et al. (2023) concluyen que la diversidad registrada en estos huertos familiares rurales es considerablemente alta ($H' = 3.08$), por lo que se plantea que estos sistemas socialmente contruidos funcionan como reservorios de la agrobiodiversidad de la región sur de la entidad.

Otra aproximación de los huertos familiares es a partir de las características socioeconómicas, sobre todo en el enfoque de la soberanía alimentaria. Esto lleva a un análisis a partir de los campesinos o actores locales que le dan el manejo al huerto familiar. En un estudio realizado en San Andrés Nicolás Bravo, Estado de México se encontró que la riqueza de especies frutales de los huertos familiares se relaciona con su uso, religión de la familia y características del responsable del huerto; la edad y tamaño del huerto no influyen en la riqueza y tampoco el género del responsable (Guadarrama & Chávez, 2023). En otro estudio ubicado en el estado de Morelos reportaron que la riqueza de plantas fue de 45 especies y dos variedades, con uso múltiple, así como de tres animales domésticos alimentarios, dos de compañía y uno de carga (Monroy et al., 2016).

Este documento tiene por objetivo analizar la diversidad y valor cultural de los huertos familiares de la comunidad, División del Norte, Escárcega y Campeche, a través del método de Índice de Shannon y Simpson. La finalidad es conocer su composición florística, diversidad y el valor que tienen las especies de los huertos familiares. Cabe señalar que la soberanía alimentaria recae en estos sistemas agroforestales, por lo cual, es importante su difusión y mejoramiento para las comunidades del Sur del Estado de Campeche, hipotéticamente se puede deducir que son espacios diversos en especies, estructuralmente definidos y con valores que la sociedad le da a las especies vegetales y animales que la constituyen.

Enfoque metodológico

Localización del área de estudio

El estudio se realizó en la comunidad de División del Norte, municipio de Escárcega, Campeche (Figura 1) en el mes de mayo de 2024. El clima es del tipo cálido-subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media a lo largo del año oscila entre los 26 y 28 °C. Las precipitaciones pluviales fluctúan entre 1 100 y 1 500 mm, los meses de junio a octubre son los de mayor precipitación, en los cuales, también se registran tormentas eléctricas (Gobierno del Estado de Campeche, 2010). La localidad es considerada la segunda más



Figure 1. Study area location.

Figura 1. Localización del área de estudio.

the main mammals are the white-lipped peccary (*Tayassu pecari* Link), wild boar (*Sus scrofa* L.), nine-banded armadillo (*Dasypus novemcinctus* L.), Mexican hairy dwarf porcupine (*Sphiggurus mexicanus* Keer), little spotted cat (*Leopardus tigrinus* Schreber), bobcat (*Lynx rufus* Schreber) and white-tailed deer (*Odocoileus virginianus* Zimmermann); the variety of reptiles mainly includes snakes such as the clear-banded coral snake (*Micrurus distans* Kennicott), boa constrictor (*Boa constrictor* L.), Central American rattlesnake (*Crotalus durissus* L.), and fer-de-lance (*Bothrops asper* Garman), as well as crocodiles (*Crocodylus acutus* Cuvier), iguanas (*Iguana iguana* L., *Iguana delicatissima* Laurenti), and lizards (*Teius oculatus* d'Orbigny & Bibron, *Sceloporus spinosus* Wiegmann, *Gerrhonotus lugoi* Wiegmann) (Gobierno del Estado de Campeche, 2010).

Selection of variables and sample size

To study traditional home gardens, the selection was made using the species accumulation method based on the number of sites visited. This means that the list of species is expected to increase as more gardens

grande del municipio de Escárcega de acuerdo con datos del INEGI (2020) cuenta con 1 164 viviendas.

Con respecto a la vegetación es considerada como selvas mediana y baja. La selva mediana subperennifolia es una comunidad vegetal, en la cual la altura media de las plantas que las componen es menor de 30 metros y en época de sequía pierden sus hojas. En la selva baja subperennifolia la vegetación es menor a 15 m de altura, esta vegetación también pierde completamente sus hojas en época de secas. Finalmente, la fauna la componen varias especies que se pueden encontrar en otras regiones; entre los principales mamíferos se tiene el pecarí barbiblanco (*Tayassu pecari* Link), jabalí (*Sus scrofa* L.), armadillo (*Dasypus novemcinctus* L.), puerco espín (*Sphiggurus mexicanus* Keer), tigrillo (*Leopardus tigrinus* Schreber), gato montés (*Lynx rufus* Schreber) y venado cola blanca (*Odocoileus virginianus* Zimmermann); la variedad de reptiles corresponde principalmente a serpientes como coralillo (*Micrurus distans* Kennicott), boa (*Boa constrictor* L.), cascabel centroamericano (*Crotalus durissus* L.) y nauyaca (*Bothrops asper* Garman), además de lagartos (*Crocodylus acutus*

are sampled; however, after a certain threshold, the number of species remains constant. This point indicates that the maximum possible number of species in the study area has been reached (García-Flores, 2019). Based on this approach, 40 interviews were conducted. The snowball sampling technique was used to administer the questionnaires. This non-probabilistic sampling method is commonly applied in qualitative research to recruit participants, particularly when the target population is difficult to access or identify (Jurado, 2017). Families were randomly selected based on their availability to participate in the interviews. Additionally, in each garden, some photographs were taken (with prior consent from the interviewees) to verify the information. It is important to note that ornamental plants without additional functions were not considered in this study. While they contribute to people's well-being, they do not generate income or substitute for one in families' livelihoods. Furthermore, most of these plants lack commonly known names, origins, or sufficient information for possible identification.

In each property, species with a known utility for the family were recorded, including herbaceous plants, shrubs, and trees. All species were identified by their common names in Spanish; some botanical species were identified on-site, while others were determined later using botanical keys. To verify scientific names and their nomenclature, information from online catalogs such as Enciclo Vida (<https://enciclovida.mx/>) and Tropicos (www.tropicos.org) was used.

Interview structure

The interview was conducted in a semi-structured format using a questionnaire composed of three sections. The first section included general information about the interviewees, such as name, gender, age, place of origin, and number of family members. The second section focused on the home garden, covering aspects such as size, age, local name, area, delimitation form, areas included in it, number of people working in it. The third section gathered information about the plant species present in the garden, including common names, availability, frequency of use, edible structures, preparation methods, perceived family value, forms of utilization, number of uses, and more.

Information analysis

Once the data from the questionnaires was collected, percentages were calculated for the characteristics of the informants and the home gardens. Subsequently, the scientific names and families of the plants were identified, and the floristic composition was estimated by determining the percentage of families and genera.

Cuvier), iguanas (*Iguana iguana* L., *Iguana delicatissima* Laurenti) y lagartijas (*Teius oculatus* d'Orbigny & Bibron, *Sceloporus spinosus* Wiegmann, *Gerrhonotus lugoi* Wiegmann) (Gobierno del Estado de Campeche, 2010).

Selección de variables y tamaño de muestra

Para estudiar los huertos familiares tradicionales, se seleccionaron mediante el método de acumulación de especies observadas en relación con el número visitado; esto es: se espera que el listado de especies sea mayor al aumentar el número de huertos muestreados, pero, después de cierto umbral de huertos, el número de especies se vuelve constante. Esta cantidad indica que ya se tiene el número máximo de especies posibles por encontrar en la zona de estudio (García-Flores, 2019) de acuerdo con lo anterior fueron 40 entrevistas; mediante la técnica de bola de nieve se llevaron a cabo los cuestionarios que es una técnica de muestreo no probabilístico utilizada en investigaciones cualitativas para reclutar participantes, especialmente cuando la población objetivo es difícil de alcanzar o identificar (Jurado, 2017). Las familias se seleccionaron al azar de acuerdo con la disponibilidad que tuvieron para contestar la entrevista. Asimismo, en cada huerto se tomaron algunas fotografías (Con previa autorización de las personas entrevistadas) para corroborar la información. Cabe destacar que las plantas de ornato que no tenían otra función no fueron contabilizadas para este estudio, debido a que, si bien aportan bienestar a las personas, no representan un ingreso o no suplen un ingreso para las familias, además de que de la mayoría no se conocen ni siquiera sus nombres comunes, origen o se tiene poca información para su posible identificación.

En cada predio se realizó el registro de especies con alguna utilidad conocida por la familia, incluyendo herbáceas, arbustivas y árboles. Se reconocieron todas las especies con el nombre común en español, unas especies botánicas se identificaron *in situ* y otras posteriormente con claves botánicas. Para corroborar los nombres científicos y su nomenclatura, se utilizó información de catálogos virtuales de Enciclo Vida (<https://enciclovida.mx/>) y Tropicos (www.tropicos.org).

Estructura de la entrevista

La entrevista fue de forma semi estructurada en la cual se empleó un cuestionario compuesto de tres partes: la primera incluía datos generales de los entrevistados; nombre, género, edad, lugar de origen, número de integrantes de la familia; en la segunda parte del cuestionario contenía preguntas sobre el huerto, tamaño, edad, nombre con el que lo conocían,

To quantify species biodiversity, the Shannon index—also known as the Shannon-Weaver index (Shannon & Weaver, 1949)—was used. This index is defined by the following formula:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

Where:

H' = Diversity index.

$\ln$ = Natural logarithm.

p_i = Proportion of individuals of species i relative to the total number of individuals.

The Simpson Diversity Index (D) estimates whether a given community is composed of highly abundant species. It does so by summing the squared abundances of each species, thereby giving greater importance to taxa with high values.

$$D = \sum p_i^2$$

Where:

P_i = Proportion of species i in the community (n_i/N)

n_i = Number of individuals of species i

N = Total number of individuals

Homer garden structure: The structure was analyzed based on their vertical stratification, considering three layers: herbaceous, shrub, and tree (Chablé-Pascual et al., 2015).

Cultural Importance Index

The Cultural Importance Index was calculated using the methodology described by Otero (2005) to quantify the values of use intensity, mention frequency, and use value, following the formula:

$$IIC = \sum (Iuz + Fmz + Vutz)$$

Where:

IIC: Cultural Importance Index, obtained by summing use intensity, mention frequency, and use value.

Iuz: Use intensity, considered as the percentage of use for a given plant species “z”.

Fmz: Mention frequency, defined as the percentage of mentions for species “z” across all informants, regardless of declared uses.

Vutz: Total use value for species “z”, calculated as the sum of all use values for species “z” in different use categories “x”, from (Vux) a (vun).

The data was processed through quantitative analysis using Excel.

superficie, forma de delimitación, áreas que lo conforman, número de personas que lo trabajan, etc. Y en una tercera sección se les preguntó sobre las especies que conformaban el huerto, así como; nombre común, disponibilidad de la planta, frecuencia de uso, estructuras utilizadas como alimento, manera de preparación, valoración percibida por la familia, formas de aprovechamiento, número de usos, etc.

Análisis de la información

Una vez obtenida la información de los cuestionarios se obtuvieron porcentajes de las características de los informantes y de las características del huerto, posteriormente se identificó el nombre científico de la planta y la familia y se estimó la composición florística obteniendo el porcentaje de familias y géneros y para cuantificar la biodiversidad específica se utilizó el índice de Shannon, también conocido como Shannon-Weaver (Shannon & Weaver, 1949). Este índice se define con la siguiente fórmula:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

Dónde:

H' = índice de diversidad.

$\ln$ = Logaritmo natural.

p_i = Proporción de individuos de las especies i respecto al total de individuos.

El índice de diversidad de Simpson (D), que estima si una comunidad determinada está compuesta por especies muy abundantes, ya que suma las abundancias de cada una al cuadrado y así, les da importancia a los taxones con alto valor.

$$D = \sum p_i^2$$

Dónde:

P_i = Proporción de las especies i en la comunidad (n_i/N)

n_i = Número de individuos de la especie i

N = Número total de individuos

Estructura del huerto: para la estructura de los huertos se tomó en cuenta la estructura vertical tomando en cuenta tres estratos (herbáceo, arbustivo y arbóreo) (Chablé-Pascual et al., 2015).

Índice de importancia cultural

El índice de importancia cultural se calculó con la metodología que describe Otero (2005) se empleó para cuantificar los valores de intensidad de uso, frecuencia de mención y valor de uso:

$$IIC = \sum (Iuz + Fmz + Vutz)$$

Dónde:

Results and Discussion

Characteristics of the surveyed individuals

The surveyed individuals consisted of 46 % men and 54 % women, with an average age of 56 years, ranging from 36 to 77 years. This indicates relatively balanced gender participation. Other studies have reported higher female participation. Rosales-Martínez et al. (2019) conducted a similar study in three communities in the municipality of Champotón, Campeche, and found that 87.5% of home gardens were managed by women, while only 12.5% were managed by men. The participants in their study were between 28 and 57 years old. Additionally, Rosales-Martínez & Leyva-Trinidad (2019) reported that 50 % of the food consumed worldwide is primarily cultivated by women in rural areas, as men tend to be more involved in field crop production.

Human migration is a social dynamic that influences the transformation of agrobiodiversity in home gardens, as it alters their economic value within households and facilitates the introduction of new species, along with the knowledge and cultural practices associated with them (Morales et al., 2024). The community of División del Norte has been populated by people from various regions of Mexico, leading to a diverse range of origins: 25 % are originally from División del Norte, municipality of Escárcega, 12.5 % come from another location in the state of Campeche, 22.5 % from Veracruz, 10 % from Tabasco, 7.5 % from Michoacán, 5 % from Oaxaca, 2.5 % from Sonora, 5 % from Chiapas and 2.5 % from Guanajuato, 2.5 % from San Luis Potosí, 2.5 % from Puebla and 2.5 % from Sinaloa. The diverse origins of the inhabitants of División del Norte have influenced local biodiversity, as home gardens now feature plant species that were not traditionally used in the region. Among these are medicinal plants such as Mexican marigold (*Tagetes lucida* Cav.) and Silver wormwood (*Artemisia ludoviciana* (Willd ex Spreng.) Fernald), as well as edible species like prickly pear (*Opuntia spp.* (L.) Mill.). These plants, along with the knowledge of their uses, were introduced from other regions, as they are not commonly utilized in the area (CONABIO, 2024).

The main reasons people have decided to maintain a home garden are to have food available for self-consumption, and some mentioned doing it out of personal preference or tradition, since their parents started this home garden and they kept it. This agrees with responses from other home gardeners. In this regard, Castañeda-Guerrero et al. (2020) reported similar reasons in home gardens of Caxhuacán, Puebla, Mexico, noting that the family garden serves multiple purposes:

IIC: Índice de Importancia Cultural, como la sumatoria de la intensidad de uso, frecuencia de mención y valor de uso.

Iuz: la intensidad de uso, considerada como el porcentaje de uso para una especie vegetal “z”.

Fmz: frecuencia de mención, considerada como el porcentaje de menciones para la especie vegetal “z” entre todos los informantes, sin distinguos de los usos declarados.

Vutz: al valor de uso total para la especie vegetal “z”, como la sumatoria de todos los valores de uso de la especie “z” en la categoría de uso “x” de (Vux) a (vun).

La información fue procesada a través de un análisis de tipo cuantitativo, en el programa Excel

Resultados y Discusión

Características de las personas encuestadas

Las personas encuestadas fueron 46 % hombres y 54 % mujeres, de una edad promedio de 56 años, de entre 36 y 77 años, por lo cual la participación en cuanto a género se encuentra equilibrada. Ya que en otros estudios han reportado mayor participación de las mujeres. Rosales-Martínez et al., (2019) realizaron un estudio similar en tres comunidades del municipio de Champotón, Campeche y reportaron mayor participación de las mujeres en un 87.5 % y solo 12.5 % de varones se hacen cargo de los huertos familiares, y la edad fluctúa entre los 28 a 57 años. Asimismo, Rosales-Martínez & Leyva-Trinidad, (2019) reportan que 50 % de los alimentos que se consumen en todo el mundo son cultivados principalmente por las mujeres de las zonas rurales, ya que los varones tienen mayor participación en las parcelas.

La migración de grupos humanos es una dinámica social que impacta en la transformación de la agrobiodiversidad de los solares, al modificar el valor o interés del solar en la economía familiar y la introducción de nuevas especies junto con ideas y conocimientos asociados a ellas (Morales et al., 2024). La comunidad de División del Norte ha sido poblada por personas de distintas partes de la República Mexicana por lo que se puede apreciar diversidad en el origen de procedencia en la cual; el 25 % son originarios de la misma comunidad de División del Norte, municipio de Escárcega, 12.5 % provienen de otro lugar en el Estado de Campeche, 22.5 % de Veracruz, 10 % de Tabasco, 7.5 % de Michoacán, 5 % de Oaxaca, 2.5 % de Sonora, 5 % de Chiapas y 2.5 % de Guanajuato, asimismo 2.5 % de San Luis Potosí, 2.5 % de Puebla y 2.5 % de Sinaloa. El

ses, with social or aesthetic interests such as pleasure, leisure, family tradition, ornamentation, rituals, or inheritance. When asked about the name given to the area of their house used for growing plants and animals, the results were as follows: 44 % referred to it as *solar* (plot), 25 % called it *huerto* (orchard), 19 % referred to it as *traspatio* (backyard), and the rest called it a *jardín* (garden). Montañez-Escalante et al. (2014) agree that spaces near the house where food is cultivated in the Yucatán Peninsula are also commonly referred to as *solares*, *traspacios*, or *huertos*.

General characteristics of home gardens

The size of home gardens varies significantly in the study area, ranging from 10 to 2 000 m². However, the most common size is 1 600 m², which corresponds to the average plot size in the community. Castañeda-Navarrete et al. (2018) report that in the Yucatán Peninsula, home gardens have an average area of 1 810 m², which host approximately 23 plant species. In the community, the average age of home gardens is 24 years, since there are persons who have had this space for almost all their lives, around 70 years (2.5 %), while the most recent ones, established under the Sembrando Vida Program, are less than five years old. About 75 % of the gardens are enclosed with mesh fencing, while 9 % use a combination of mesh and live fences. Only 3 % are bordered by stone fences or barbed wire. On average, each garden is managed by 1.7 people, predominantly women. Occasionally, husbands assist, and to a lesser extent, children also contribute. As noted by García et al. (2019), these spaces are often considered female-managed domains. On average, 1.7 people work in each garden, with women being the primary caretakers. Husbands occasionally assist, and children contribute to a lesser extent. As noted by García et al. (2019), these spaces are often considered female-managed domains. The amount of space allocated to a garden is highly significant, as it influences the variety of species that can be cultivated, the use of agrobiodiversity, and the management of agroecosystems (García et al., 2018). In other regions of Mexico, home gardens tend to be smaller. For example, in Estado de México, the average garden size is 500 m² (García et al., 2019). However, in some municipalities of Campeche, garden sizes are larger. In Pomuch, Campeche, Poot-Pool et al. (2012) report an average garden size of 1 262 m².

Characteristics of plant species in home gardens

The home gardens showed a variety of edible plants, fruit trees, timber species, and medicinal plants, as well as ornamental plants such as crown of thorns (*Euphorbia milii* Des Moul.) and desert rose (*Adenium obesum* (Forssk.) Roem. & Schult.). In total, 96 plant

origen de las personas de División del Norte ha modificado la diversidad, ya que, en los solares se pueden apreciar especies con uso medicinal como el pericón (*Tagetes lucida* Cav.), estafiate (*Artemisia ludoviciana* (Willd ex Spreng.) Fernald) o comestibles como el nopal (*Opuntia* spp. (L.) Mill.), los cuales no tienen un uso generalizado en la región (CONABIO, 2024) y que tanto el conocimiento como las primeras plantas fueron traídas de otras regiones.

Las principales razones por lo que las personas han decidido tener un huerto, es porque tienen alimentos disponibles para su autoconsumo y algunas expresaron que por gusto o por tradición ya que sus padres iniciaron con el huerto y ellos lo continuaron. Lo cual coincide con informantes de otros huertos, en este sentido, Castañeda-Guerrero et al., (2020) reportaron razones similares en los huertos de Caxhuacán Puebla, México, mencionaron que el huerto familiar tiene más de un uso, y desatacan intereses sociales o estéticos por gusto, ocio, tradición familiar, ornamental, ritual o herencia. Se inquirió acerca del nombre que le dan al área de su casa la cual es utilizada para el desarrollo de sus plantas y animales y el resultado obtenido fue que el 44 % le llaman solar 25 % de los encuestados le llaman huerto, 19 % traspatio y el resto jardín, Montañez-Escalante et al., (2014) coinciden en que al espacio que se encuentra cercano a la casa y en el cual se cultivan alimentos en la península de Yucatán, son también nombrados solares, traspacios o huertos.

Características generales de los huertos

El tamaño de los huertos en superficie es variado: en el área de estudio se encontraron huertos con superficies desde 10 hasta 2 000 m², sin embargo, el más común es el de 1 600 m² ya que corresponde al tamaño promedio de los solares en la Comunidad. Castañeda-Navarrete et al., (2018) reportan que en la Península de Yucatán se pueden encontrar huertos con una superficie promedio de 1 810 m² que albergan aproximadamente 23 especies. En la comunidad se identificaron huertos familiares con edad promedio de 24 años, ya que hay personas que han tenido este espacio por casi toda su vida, aproximadamente 70 años (2.5 %) y los huertos más recientes son de menos de cinco años, que corresponden a los establecidos en el Programa Sembrando Vida. El 75 % de los huertos está delimitado por malla, así como por malla y cerco vivo (9 %), y solamente el 3 % está delimitado por cerca de piedra, o alambre de púas. Los huertos son trabajados por 1.7 personas, generalmente son las mujeres quienes los trabajan, en ocasiones ayudan los esposos y en menos proporción algún hijo. Como también lo ha mencionado García et al. (2019), que estos espacios son considerados como femeninos. El espacio que los

species were identified with uses with a use other than ornamental, along with six animal species: chickens, sheep, pigs, and turkeys, which are raised for family consumption, as well as dogs and cats kept as pets.

This level of biodiversity exceeds the 45 species reported by Monroy-Martínez et al. (2016) in Pueblo Nuevo, Tlaltizapan, Morelos, Mexico, but is lower than findings from other studies, such as the 239 species recorded by Tino-Antonio et al. (2022) in Olintla, Puebla, or the 329 species documented by Beltrán-Rodríguez (2023) in southeastern Morelos. However, the results are similar to those reported by Góngora-Chin (2016) in home gardens in Campeche, Campeche, where 87 species were identified. The number of species observed may have been influenced by season when the study was conducted, as May is characterized by high temperatures and the rainy season had not yet begun.

Shannon-Weaver diversity index and Simpson index

The diversity index was 1.8, indicating relatively low biodiversity. Home gardens in the Chontalpa region, Tabasco, have reported indices ranging from 0.8 to 2.4 (Chable-Pascual et al., 2015), while in La Encrucijada, Tabasco, the index ranged from 0.9 to 3.09 (Bautista-García et al., 2016). In contrast, home gardens in the municipality of Cárdenas, Tabasco, reported indices between 2.20 and 3.43 (Torres, 2010). The Simpson index was 0.022, indicating the presence of highly abundant species in the community. Notably, lemon, avocado, coconut (*Cocos nucifera* L.), and soursop (*Annona muricata* L.) dominate the local home gardens.

Floristic composition

The biodiversity of home gardens in División del Norte consists of species from 46 families (Table 1), with the most representative being Rutaceae (9 species), Lamiales (6 species), Solanaceae (6 species), and Cucurbitaceae (5 species). These gardens include 77 genera and 96 plant species, of which the most frequent are lemon (21 gardens), banana (*Musa paradisiaca* L., 15 gardens), avocado (*Persea americana* Mill., 15 gardens), soursop (15 gardens), sweet orange (*Citrus × sinensis* (L.) Osbeck, 14 gardens), and coconut (14 gardens). The *Citrus* genus is the most representative (Guadarrama et al., 2020).

A study conducted in two communities in the municipality of Campeche found slightly lower diversity, reporting 85 species in total. However, the number of families and genera was very similar, with 74 genera and 41 families recorded in the community of Chemblas and 88 species, 79 genera, and 45 families in Los Laureles, municipality of Campeche (Góngora-Chin et

propietarios dedican al establecimiento de un huerto es de mucha importancia, ya que esto va a dar pauta al tipo de especies que se pueden encontrar, el aprovechamiento de la agrobiodiversidad y el manejo de los agroecosistemas (García et al., 2018). En otras regiones del país el área destinada al huerto es menor, por ejemplo; en el Estado de México, tienen en promedio 500 m² (García et al., 2019). Incluso, el área es mayor a la reportada en otros municipios de Campeche, de acuerdo con Poot-Pool et al. (2012) en el municipio de Pomuch, Campeche, los huertos presentan extensiones promedio de 1 262 m².

Características de las especies vegetales de los huertos

En los huertos se pudieron observar especies para la alimentación, árboles frutales, maderables y plantas medicinales, además de plantas de ornato como la corona de cristo (*Euphorbia millii* Des Moul.) y la flor del desierto (*Adenium obesum* (Forssk.) Roem. & Schult.). 96 especies vegetales con un uso diferente al de ornato y seis especies animales: gallinas, borregos, cerdos, pavos que son para autoconsumo de las familias, perros y gatos como animales de compañía. Lo cual muestra una diversidad mayor a la reportada por Monroy-Martínez et al. (2016) en Pueblo Nuevo, Tlaltizapan, Morelos, México, de 45 especies, y menor a la reportada en otros poblados por Tino-Antonio et al. (2022) de 239 especies en un estudio en Olintla estado de Puebla, o en el sureste del estado de Morelos en la cual Beltrán-Rodríguez (2023) reportó 329 spp, pero similar con Góngora-Chin (2016) en huertos de Campeche, Campeche, con 87. La cantidad de especies pudo verse influenciada por el mes en que fue realizado el estudio, debido a que mayo es cuando se registran las mayores temperaturas y aún no habían iniciado las lluvias.

Índice de biodiversidad de Shannon-Weaver e índice de Simpson

El índice de biodiversidad fue de 1.8, el cual indica que la biodiversidad es relativamente baja, huertos de la zona de la Chontalpa, Tabasco, reportan índices de 0.8 a 2.4 (Chable-Pascual et al., 2015), mientras que en la encrucijada Tabasco fue de 0.9 a 3.09 (Bautista-García et al., 2016) y finalmente en huertos del municipio de Cárdenas, Tabasco el índice fue de 2.20 a 3.43 (Torres, 2010). El índice de Simpson fue de 0.022, lo que indica que existen especies muy abundantes en la comunidad como es el caso del limón, aguacate, coco (*Cocos nucifera* L.) y guanábana (*Annona muricata* L.) que dominan los huertos de la comunidad.

Table 1. Main botanical families of the home gardens of División del Norte.**Cuadro 1. Principales familias botánicas de los huertos familiares de División del Norte.**

Family / Familia	Number of species / Número de especies	Frequency / Frecuencia
Rutaceae	9	0.09
Lamiaceae	6	0.06
Solanaceae	6	0.06
Cucurbitaceae	5	0.05
Asteraceae	4	0.04
Fabaceae	4	0.04
Amaranthaceae	3	0.03
Anacardiaceae	3	0.03
Arecaceae	3	0.03
Commelinaceae	3	0.03
Meliaceae	3	0.03
Liliaceae	2	0.02
Anacardiaceae	2	0.02
Asphodelaceae	2	0.02
Cactaceae	2	0.02
Euphorbiaceae	2	0.02
Lauraceae	2	0.02
Malvaceae	2	0.02
Musaceae	2	0.02
Myrtaceae	2	0.02
Nyctaginaceae	2	0.02
Poaceae	2	0.02
Rubiaceae	2	0.02
Other families	20	0.20

al., 2016). In the community of La Encrucijada, Cárdenas, Tabasco, 203 species were recorded, the botanical families with the best representation were Lamiaceae, Fabaceae, and Rutaceae (Bautista-García et al., 2016). The Rutaceae family is the most dominant in-home gardens, primarily represented by lemon, sour orange, sweet orange, and mandarin (*Citrus reticulata* Blanco), among others.

Vertical structure of the home garden

The species can be found in three strata: herb, shrub and tree layers. However, the herb layer is the most

Composición florística

La biodiversidad de los huertos de División del Norte la componen especies de 46 familias (Cuadro 1), de las cuales las más representativas son: Rutaceae (9 especies), Lamiaceae (6 especies) Solanaceae (6 especies), y Cucurbitaceae (5 especies), 77 géneros y 96 especies vegetales, de las cuales las más frecuentes son: limón (21 huertos), plátano (*Musa paradisiaca* L., 15 huertos), aguacate (*Persea americana* Mill., 15 huertos), guanábana; 15 huertos, naranja dulce (*Citrus x sinensis* (L.) Osbeck, 14 huertos) y coco 14 huertos. El género *Citrus* es el más representativo (Guadarrama et al., 2020).

En un estudio realizado en dos comunidades del municipio de Campeche, han encontrado una diversidad ligeramente menor, ya que su registro fue en total de 85 especies, sin embargo, en cuanto al número de familias y de géneros es muy similar a 74 géneros y 41 familias en la comunidad de Chemblas y 88 especies, 79 géneros y 45 familias en Los Laureles municipio de Campeche (Góngora-Chin et al., 2016). En la comunidad de la Encrucijada, Cárdenas, Tabasco de 203 especies, las familias botánicas mejor representadas fueron: Lamiaceae, Fabaceae y Rutaceae (Bautista-García et al., 2016). La familia Rutaceae es la mayormente representada en los huertos, principalmente por limón, naranja agria, naranja dulce, mandarina (*Citrus reticulata* Blanco), etc.

Estructura vertical del huerto

Las especies se pueden encontrar en tres estratos: herbáceo, arbustivo y arbóreo. Sin embargo, el estrato herbáceo es el que predomina con el 51.61 % (48 especies), mientras el 30.25 % corresponden al estrato arbóreo (28 especies) y donde predominan especies como: cedro (*Cedrela odorata* L.), maculí (*Tabebuia rosea* (Bertol.) DC.), Siricote (*Cordia dodecandra* DC.), chacté viga (*Caesalpinia mollis* (Kunth) Spreng), Laurel (*Laurus nobilis* L.), neem (*Azadirachta indica* A. Juss.), tamarindo (*Tamarindus indica* L.), chicozapote (*Manilkara sapota* (L.) Van Royen), caoba (*Swietenia macrophylla* King), su principal característica es que presentan árboles con alturas de 8 hasta 19 m y solamente el 18.28 % son arbustivas (17 especies), se caracterizan por ser árboles de porte bajo máximo 5 m, los principales ejemplares fueron limón persa, buganvilia (*Bougainvillea glabra* Choisy), guanábana, chaya (*Cnidoscolus aconitifolius* (Mill.) I.M. Johnst.).

Dentro del estrato herbáceo existen varias de las especies que son condimentos y las personas las tienen a ras del suelo o en macetas, de ahí su abundancia entre las más importantes se encuentran: tomillo (*Thymus vulgaris* L.), hierbabuena (*Mentha spicata* L.),

dominant, comprising 51.61 % (48 species). The tree stratum accounts for 30.25 % (28 species), including species such as cedar (*Cedrela odorata* L.), pink poui (*Tabebuia rosea* (Bertol.) DC.), siricote (*Cordia dodecandra* DC.), chacté viga (*Caesalpinia mollis* (Kunth) Spreng), bay laurel (*Laurus nobilis* L.), neem (*Azadirachta indica* A. Juss.), tamarind (*Tamarindus indica* L.), chicozapote (*Manilkara zapota* (L.) Van Royen), and big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King). A distinctive characteristic of this stratum is the presence of trees ranging in height from 8 to 19 meters. The shrub stratum represents 18.28 % (17 species), characterized by small trees with a maximum height of 5 meters. Notable species in this category include Persian lime, bougainvillea (*Bougainvillea glabra* Choisy), soursop, and chaya (*Cnidoscolus aconitifolius* (Mill.) I.M. Johnst.).

Within the herbaceous stratum, many species are used as condiments, often grown directly on the ground or in pots, contributing to their abundance. The most important species in this category include thyme (*Thymus vulgaris* L.), spearmint (*Mentha spicata* L.), Cuban oregano (*Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng), oregano (*Origanum vulgare* L.), and basil (*Ocimum basilicum* L.).

Use value of home gardens in División del Norte

All home gardens contain plant species, either cultivated or preserved. The categories of use were classified as edible, beverage, medicinal, timber, ritual, and living fence (Table 2). This characteristic is also present in other home gardens in Mexico (Castañeda-Guerrero et al., 2020). However, the order of importance may vary slightly, generally following the sequence of food, firewood, shade, medicinal, living fence, and ornamental as the most significant uses (Monrroy-Martínez et al., 2016). Interestingly, the most popular edible plants are fruit trees, though they are only available during certain seasons. The most prominent species include lemon, banana, avocado, coconut, mango, soursop, and sour orange, along with the presence of annual crops such as radish (*Raphanus sativus* L.) and coriander (*Coriandrum sativum* L.).

Medicinal plants play a significant role in the community, with 32 recorded species known for their therapeutic uses. The most frequently mentioned include lemon, spearmint, bougainvillea, epazote (*Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants), and boat lily (*Tradescantia spathacea* Sw.), among others. Additionally, 27 species are used for beverages, either in flavored water or infusions, with lemon, soursop, and mango being the most common. The shade provided by certain species is also highly valued by the com-

Table 2. Uses of plants in home gardens in División del Norte, Campeche

Cuadro 2. Uso de las plantas de los traspatios de División del Norte, Campeche.

Category use / Categoría de uso	Number of plant species/ Nú- mero de especies vegetales
Edible / Comestible	52
Medicinal / Medicinal	32
Beverages / Bebidas	27
Ornamental / Ornamental	7
Shade / Sombra	6
Religious / Religioso	5
Timber / Maderable	5
Firewood / Leña	5
Commercial / Comercial	4
Living fence / Cerco vivo	1

oreganón (*Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng), orégano (*Origanum vulgare* L.), y albahaca (*Ocimum basilicum* L.).

Valor de uso de los huertos de División del Norte

En todos los huertos están presentes las especies vegetales, ya sean cultivadas o preservadas, las categorías de uso se clasificaron en: comestible, bebidas, medicinal, maderable, ritual y por último las utilizan como cerco vivo, (Cuadro 2) esta característica está presente en otros huertos de México (Castañeda-Guerrero et al., 2020) sin embargo, el orden de importancia puede variar ligeramente y van de alimento, leña, sombra, medicinal cerca viva y ornamental, son los usos más importantes (Monrroy-Martínez et al., 2016), sorprendentemente todos los comestibles más populares son frutales, aunque solo estén disponibles durante una época del año, las que más destacan son: limón plátano, aguacate, coco, mango, guanábana, y naranja agria, además de la presencia de cultivos anuales como rábanos (*Raphanus sativus* L.) y cilantro (*Coriandrum sativum* L.).

Las plantas medicinales cobran una gran importancia en la comunidad, 32 de las especies registradas se les conoce algún uso medicinal; las más mencionadas fueron: limón, hierbabuena, buganvilia, epazote (*Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants), magüey morado (*Tradescantia spathacea* Sw.) entre otras, y 27 especies se utilizan para bebidas ya sea en agua fresca o en infusiones; limón, guanábana y mango, etc. El confort que pueden ofrecer algunas especies por

munity. At least six species are appreciated for their shade, including bay laurel, siricote, big-leaf mahogany, cedar, and chacté viga. Furthermore, five of these species are also used for firewood: maculí (*Tabebuia rosea* Bertol.) DC), mahogany, cedar, chacté viga, and siricote.

The residents of the División del Norte community value plant species and use different parts of them, including leaves (44 species). Among these, aromatic plants like basil and oregano stand out. The fruits (43 species) are also significant, coming from fruit trees such as lemon, avocado, orange, mandarin, and soursop, as well as from herbaceous plants like melon (*Cucumis melo* L.), watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.), cucumber (*Cucumis* sp. L.), pepper (*Capsicum annuum* L. and *C. chinense* Jacq.), and tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Stems are more valued in timber species like cedar and mahogany, while the least consumed part are roots, since only cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and makal (*Xanthosoma yucatanense* Engl.) were mentioned. In home gardens of Coatetelco, Morelos, fruits have also been recognized as one of the most utilized structures in the community (García et al., 2019).

Cultural Importance Index

The cultural importance index (Table 3) indicates that the most valued species among the inhabitants of División del Norte are food plants: lemon (40), avocado (39.5), sour orange (33.8), mango (32.9), and spearmint (32.4) and followed by some timber species such as mahogany (31.8), cedar (31.2) and pink poui (30.6). This trend is expected, as 55 % of the home gardens have at least one lemon or sour orange plant. Monrroy-Martínez et al. (2016) and Guadarrama-Martínez et al. (2020) also reported a higher cultural importance index for species used for food.

Home gardens play a crucial role in food sovereignty, particularly in areas where large-scale food production chains cannot reach, such as remote communities with limited access to food resources. These gardens not only provide food but also serve as a source of medicinal plants used to treat various illnesses. To strengthen their impact, it is essential to enhance species diversity based on nutritional needs, ensuring that proteins, fibers, vitamins, and other essential nutrients are incorporated into the local diet. Government support can be channeled to help families enhance the genetic quality of cultivated plants and livestock, creating markets for surplus production, and promoting agro-industrial initiatives.

Conclusions

Biodiversity found in home gardens is influenced by factors such as culture, geographic origin, and the age of the

su sombra también es valorado en la comunidad y al menos seis especies se les aprecia por la sombra que ofrece; laurel, siricote, caoba, cedro, chacté viga y cinco de ellas se utilizan para leña; maculí (*Tabebuia rosea* (Bertol.) DC), caoba, cedro, chacté viga, y siricote.

Los habitantes de la comunidad de División del Norte aprecian las especies vegetales y utilizan diferentes partes de ellas, como hojas (44 especies), de estas destacan las aromáticas como la albahaca, orégano, seguido de los frutos (43 especies) ya sea provenientes de árboles frutales como: limón, aguacate, naranja, mandarina, guanábana, etc., o por los frutos de las plantas herbáceas como melón (*Cucumis melo* L.), sandía (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Mansf.), pepino (*Cucumis* sp. L.), chile (*Capsicum annuum* L. y *C. chinense* Jacq.) y jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), los tallos son más apreciados en las especies maderables como cedro y caoba y finalmente la estructura que menos se consume es la de raíces ya que solo mencionaron a la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y el makal (*Xanthosoma yucatanense* Engl.). En los huertos de Coatetelco, Morelos también ha sido reconocido el fruto como una de las estructuras con mayor uso en la comunidad (García et al., 2019).

Índice de importancia cultural

El índice de importancia cultural (Cuadro 3) refleja que las especies más valoradas por los habitantes de División del Norte son las alimenticias: limón (40), aguacate (39.5), naranja agria (33.8), mango (32.9), hierba buena (32.4) y le siguen algunas de tipo maderables como la caoba (31.8), cedro (31.2) y maculí (30.6). Lo cual es de esperarse ya que el 55 % de los huertos tienen al menos una planta de limón y naranja agria. (Monrroy-Martínez et al., 2016, Guadarrama-Martínez et al. (2020), también reportaron mayor índice de importancia cultural a las especies con uso alimenticio.

Los huertos familiares son un elemento esencial para la soberanía alimentaria. Es un área de oportunidad donde las grandes cadenas de producción de alimento no pueden llegar, sobre todo, en comunidades que dicho acceso es limitado. No solamente provee de alimentos, sino de una fuente de especies que funcionan para curar enfermedades. Por ello, se propone que se fortalezcan a través del enriquecimiento de especies con base en las necesidades nutritivas, donde la proteína, las fibras, vitaminas, etc., formen parte de la dieta de los habitantes. Se pueden dirigir apoyos gubernamentales para que las familias mejoren la calidad genética de los cultivos y las especies zootécnicas, además de espacios donde se comercialicen los excedentes de producción, así como el fomento de la agroindustria.

Table 3. Cultural Importance Index of the main species in the home gardens
Cuadro 3. Índice de importancia cultural de las principales especies de los huertos familiares.

Common name / Nombre común	Scientific name / Nombre científico	Intensity of use / Intencidad de uso	Frequency of mention / Frecuencia de mención	Value of use / Valor de uso	CII/ IIC
Lemon / Limón	<i>Citrus limon</i> L.	30	8.5	1.5	40.0
Avocado / Aguacate	<i>Persea americana</i> Mill.	30	6.1	3.4	39.5
Sour orange / Naranja agria	<i>Citrus aurantium</i> L.	30	3.2	0.6	33.8
Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	30	2.4	0.4	32.9
Spearmint / Hierba buena	<i>Mentha spicata</i> L.	30	2.0	0.4	32.4
Mahogany / Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i> King	30	1.2	0.6	31.8
Mexican pepperlea/ Momo	<i>Piper auritum</i> Kunt	30	1.2	0.1	31.3
Chacté viga / Chacté viga	<i>Caesalpinia mollis</i> (Kunth) Spreng	30	0.5	0.6	31.2
Cedar / Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.	30	0.5	0.6	31.2
Pink poui / Maculi	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC.	30	0.1	0.5	30.6

CII: Cultural Importance Index / ICC: índice de importancia cultural

gardeners, as well as the size and age of the backyard spaces. However, the biodiversity index remains low, indicating a degree of uniformity in the species present and dominance of certain abundant species. The value of use of these species is primarily determined by their role in food and medicine, mainly consisting of herbaceous plants with an average age of two years. Among food species, lemon, avocado, bitter orange, and spearmint have the highest cultural value index, while trees such as mahogany, cedar, siricote, and chacté viga are valued for shade, timber, live fencing, or firewood.

End of English version

References / Referencias

Bautista-García, G., Sol-Sánchez, Á., Velázquez-Martínez, A., & Llanderal-Ocampo, T. (2016). Composición florística e importancia socioeconómica de los huertos familiares del Ejido “La Encrucijada”, Cárdenas, Tabasco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(SPE14), 2725-2740. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016001002725

Beltrán-Rodríguez, L., Tegoma-Coloreano, A., Blancas J., & García-Flores, A. (2023). Riqueza, estructura y diversidad florística

Conclusiones

La biodiversidad que se encuentra en los huertos se ve influenciada por características como la cultura, el origen geográfico y la edad de las personas, asimismo del tamaño y edad de los traspacios. Sin embargo, el índice de biodiversidad es bajo, lo que quiere decir que hay cierta uniformidad en las especies que se encuentran en los traspacios y especies que son abundantes. El valor de uso está regido por los objetivos de alimentación y medicina, principalmente compuesto por herbáceas con edad promedio de dos años. Las especies alimenticias como el limón, el aguacate, naranja agria y la hierbabuena son las especies con mayor índice de valor cultural, y árboles como caoba, cedro, siricote y chacté viga, son apreciados por sombra, maderables, cerco vivo o leña.

Fin de la versión en español

en huertos familiares del sureste del estado de Morelos: una aproximación biocultural. *Polibotánica* 55(28), 41-65. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.55.4>

Calvet, M. L., Garnatje, T., Parada, M., Vallés, J., & Reyes, G. V. (2014). Más allá de la producción de alimentos: los huertos familiares como reservorios de diversidad

- biocultural. *Ambienta*, 107, 40-53. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnipccajpcgclefindmkaj/https://www.revistaambienta.es/content/dam/revistaambienta/files-1/Revista-Ambienta/AMBIENTA/107/Ambienta_2014_107_40_53.pdf
- Castañeda-Navarrete, J., Lope-Alzina, D. G., & Ordóñez-Díaz, M. de J. (2018). Los huertos familiares en la península de Yucatán. En: Ordóñez Díaz, M. de J. (Ed.). Atlas biocultural de huertos familiares en México: Chiapas, Hidalgo, Oaxaca, Veracruz y península de Yucatán (pp. 331-390). *Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias*, UNAM. <http://libros.crim.unam.mx/index.php/lc/catalog/book/61>
- Castañeda-Guerrero, G. I., Aliphat, F. M. M., Caso, B. L., Lira, S. R., & Martínez, C. D. C. (2020). Conocimiento tradicional y composición de los huertos familiares totonacas de Caxhuacan, Puebla, México. *Polibotánica*, (49), 185-217. URL: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682020000100185.
- Chablé-Pascual, R., Palma-López, D. J., Vázquez-Navarrete, C. J., Ruiz Rosado, O., Mariaca-Méndez, R., & Ascensio-Rivera, J. M. (2015). Estructura, diversidad y uso de las especies en huertos familiares de la Chontalpa, Tabasco, México. *Sistema de Información Científica Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. 12(4). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282015000100003
- Colín, H., Cuevas, A. H., & Tradicional, R. E. M. (2012). El Manejo Tradicional y Agroecológico en un Huerto Familiar de México, como ejemplo de sostenibilidad. *Etnobiología*, 10(2), 12-28. <https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/210>
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2024). *Artemisa Ludaviciana*. Consultado el 18 de septiembre del 2024 en: Artemisia ludoviciana - ficha informativa (conabio.gob.mx).
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2010). El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. URL: <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/bMesofilo.html>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2016). Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Roma: FAO.
- García-Flores J. C., Gutiérrez-Cedillo J. G. Araújo-Santana M. R (2019). Factores sociales explicativos de la riqueza vegetal en huertos familiares: análisis de una estrategia de vida. *Sociedad y Ambiente*, 7(19): 241-264. doi: 10.31840/sya.v0i19.193
- García, J. C., Calvet-Mir, L., Domínguez, P., & Gutiérrez, J. G. (2018). Buenas prácticas de desarrollo sostenible: el huerto familiar en el Altiplano Central Mexicano. En Julián Mora. (ed.), *Gestión ambiental y desarrollo sustentable: experiencias comparadas*. Pamplona, España: Thomson Reuters Aranzadi, pp. 129-138. https://www.researchgate.net/publication/329483595_Buenas_practicas_de_desarrollo_sostenible_el_huerto_familiar_en_el_Altiplano_Central_Mexicano
- García, J. J., Gutiérrez, G., Balderas, M. A., Araújo, M. R. (2016). Sociocultural and environmental benefits from family orchards in the Central Highlands of México. *Bois et Forêts des Tropiques*, 329(3): 29-42. URL: <http://doi.org/10.17632/sxzvv59pgg.1>.
- Gobierno del Estado de Campeche (2010). *Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos de Escárcega, Campeche*. México: Gobierno del estado de Campeche. URL: <https://www.semabicc.campeche.gob.mx/ordenamiento/PM-Escarcega.pdf>.
- Góngora-Chin, R. E., Flores-Guido, S., Ruenes-Morales, M., Aguilar-Cordero, W., & García-López, J. E. (2016). Uso tradicional de la flora y fauna en los huertos familiares mayas en el municipio de Campeche, Campeche, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 3(9), 379-389. Recuperado 10 de septiembre, 2024, http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282016000300379&lng=es&tlng=es.
- Guadarrama-Martínez, N., Chávez- Mejía, M. C., Rubí-Arriaga, Ma., & White- Olascoaga, L. (2020). La diversidad biocultural de frutales en huertos familiares de San Andrés Nicolás Bravo, Malinalco, México. *Sociedad y Ambiente*, (22), 237-264. <https://doi.org/10.31840/sya.vi22.2107>
- Guadarrama, M. N., & Chávez, M. M. C. (2023). Factores sociales y culturales que favorecen la riqueza de frutales en huertos familiares. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 20(4), 1-15. <https://doi.org/10.22231/asyd.v20i4.1530>.
- Hernández, X. E., & Ramos, A. R. (1977). Metodología para el estudio de agroecosistemas con persistencia de tecnología agrícola tradicional. En: Hernández, X. E. *Agroecosistemas de México*. México: Escuela Nacional de Agricultura. pp. 321-333.
- INEGI (2020). Sistemas de consulta. Consultado el 29 de agosto de 2024. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx?ag=040090002>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2010). XIII Censo General de Población y Vivienda. México: INEGI.
- Jiménez, W. (2007). Huertos mixtos en la economía familiar en fincas del noratlántico de Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales (TropJ EnvironSci)*, 33-39.
- Jurado, Ch. S. (2017). Estadística Inferencial. Manual Autoformativo. Perú: Universidad Intercontinental.
- Monroy-Martínez, R., Ponce-Díaz, A., Colín-Bahena, B. H., Monroy-Ortiz, C., & García Flores, A. (2016). Los huertos familiares tradicionales soporte de seguridad alimentaria en comunidades campesinas del estado de Morelos, México. *Ambiente y Sostenibilidad*, 33-43.
- Montañez-Escalante, P. I., Ruenes-Morales, M. R., Ferrer-Ortega, M., & Estrada-Medina, H. (2014). Los huertos familiares Maya-Yucatecos: situación actual y perspectivas en México. *Ambienta*, 107, 100-109.
- Morales, J. R., Aguilar Cordero, W., Gómez Varela, C. S., & García Gil, J. G. (2024). La migración rural-urbana como factor de cambio en la composición y manejo de solares

- mayas. *Economía, sociedad y territorio*, 24(74). <https://doi.org/10.22136/est20241928>
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2017). La población mundial aumentará en 1.000 millones para 2030. Noticias. Junio 21, 2017. Nueva York. URL: <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-population-prospects-2017.html>.
- Pagaza, E. M. (2008). Efecto de la urbanización y el cambio cultural en la estructura florística de los huertos familiares y su papel en la conservación de especies silvestres, un estudio de caso en Tlacuilotepec, Puebla. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Maestría.
- Oliveira-de Sousa, & Gonçalves-Rocha E. (2021). Derecho de los campesinos, a la agrobiodiversidad y uniformización genética: crítica a la legislación vigente sobre semillas y cultivares en Brasil y Argentina. *Momba'etéva*, 2: 3-24; <https://doi.org/10.30972/mom.125857>
- Otero, Z. R. (2005). Árboles nativos de usos múltiples y sistemas agroforestales tradicionales en el municipio de Acapulco de Juárez, Guerrero. Tesis de Grado. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. 181 p. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/handle/123456789/3678>
- Poot-Pool, W. S., Hans, V. D. W., Salvador, F. J., Pat-Fernández, J. M., & Esparza-Olguín, L. (2012). Composición y estructura de huertos familiares y medios de vida de productores en Pomuch, Campeche. Los huertos familiares en Mesoamérica. *Universidad Autónoma de Yucatán* 31: 39-68
- Rosales-Martínez, V., & Leyva-Trinidad, D. A. (2019). El rol de la mujer en el agroecosistema y su aporte a la producción de alimentos. *Agroproductividad*, 12(1), 47-53. <https://link.gale.com/apps/doc/A592664296/FE?u=anon~680fac7e&sid=googleScholar&xid=12e145be>
- Rosales-Martínez, V., Flota-Bañuelos, C., Candelaria-Martínez, B., Bautista-Ortega, J., & Fraire-Cordero, S. (2019). Importancia socioeconómica de los huertos familiares en tres comunidades rurales de Campeche. *Agro productividad* 12 (2): 15-20. <https://doi.org/10.32854/agrop.v12i2.1358>
- Rzedowski, J., & Huerta, L. (1978). Vegetación de México (Vol. 432). México: Editorial *Limusa*.
- Salazar, B. L., Magaña, M. M. A., & Latournerie, M. L. (2015). Importancia económica y social de la agrobiodiversidad del traspatio en una comunidad rural de Yucatán, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 12, 1-14.
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). The mathematical theory of communication. USA: *University of Illinois Press*. Urbana.
- Tegoma, C. A., Blancas, J., García, F. A., & Beltrán, R. L. (2023). Riqueza, estructura y diversidad florística en huertos familiares del sureste del estado de Morelos: una aproximación biocultural. *Polibotánica*, 55, 41-65. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.55>.
- Tino-Antonio P., Sánchez-Morales P., Juárez-Ramón D., Boege-Schmidt E., & Julio Sánchez-Escudero (2022). Conocimiento tradicional, agrobiodiversidad y prácticas agroecológicas en los liipakan (huertos familiares) de Olintla, Puebla. *Revista Ra Ximhai*, 18(4 Especial), 263-289. doi.org/10.35197/rx.18.04.2022.12.p
- Toledo, V. M., & Ordóñez, M. J. (1993.) The biodiversity scenario of Mexico: a review of terrestrial habitats. pp. 757-777. En: T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa, eds. *Biological Diversity of Mexico: Origins and distribution*. Oxford University Press. Nueva York. 812 p.
- Torres, R. N. N. 2010. El solar: sitio de conservación de germoplasma y biodiversidad, en tres localidades del municipio de Cárdenas, Tabasco. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Producción Agroalimentaria en el Trópico. 117 p



EN

Bibliometric analysis of scientific production on genetically modified corn: Trends and new perspectives

ES

Análisis bibliométrico de la producción científica sobre maíz genéticamente modificado: Tendencias y nuevas perspectivas

Guadalupe Manzano Ocampo*

Instituto Michoacano de Ciencias de la Educación José María Morelos, Profesora de Cátedra en las Maestrías en Pedagogía y Educación en Ciencias Naturales, Juárez núm. 1600, Morelia, Michoacán de Ocampo, C.P. 58060

***Corresponding author:**

gmanzanooc@gmail.com

ORCID ID: 0009-0007-7403-5475

Received: November 18, 2024**Accepted:** February 20, 2025**Published online:** March 24, 2025**Abstract**

Scientific interest in the analysis of genetically modified corn has gained ground in recent years. The research focused on analyzing the international scientific production on genetically modified corn, collected in the *ScienceDirect* database during the period 2000-2024 (March). Through bibliometric indicators and the use of *VOSviewer software*, the most relevant information was visualized and mapped along with the predominant trends in this field. This process allowed the identification of seventy-nine groups that represent the main researching areas, as well as the distinction of the main authors who address the topic.

Among the notable trends, there is a marked increase in the production of articles on genetically modified corn, especially in the field of Biochemistry, Genetics and Molecular Biology.

Keywords: Glyphosate, biotechnology, biochemistry, protection of local culture, health.

Resumen

El interés científico por el análisis del maíz genéticamente modificado ha ganado terreno en los últimos años. El estudio se enfocó en analizar la producción científica internacional sobre maíz genéticamente modificado, recopilado en la base de datos de *ScienceDirect* durante el período 2000-2024 (marzo). A través de indicadores bibliométricos y el uso de software *VOSviewer*, se visualizó y mapeó la información más relevante junto con las tendencias predominantes en este campo. Este proceso permitió la identificación de setenta y nueve agrupaciones que representan las áreas primordiales de investigación, así como la distinción de los principales autores que abordan el tema.

Entre las tendencias destacadas, se observa un marcado aumento en la producción de artículos sobre el maíz genéticamente modificado, especialmente en el ámbito de la Bioquímica, Genética y Biología Molecular.

Palabras clave: Glifosato, biotecnología, bioquímica, protección de la cultura local, salud.



Please cite this article as follows (APA 7): Manzano Ocampo, G. (2025). Bibliometric analysis of scientific production on genetically modified corn: Trends and new perspectives. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 5, e202403. doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.05.03>

Introduction

Genetically modified corn has positioned itself as a crucial issue on the global agenda, addressing the imperative need to reconcile the adoption of genetically modified crops with environmental conservation, the protection of local culture and the welfare of host communities. In this context, bibliometric analysis of scientific production on genetically modified corn becomes a fundamental tool to understand current trends, approaches and challenges in this field of study. Through the gathering and analysis of research published in *ScienceDirect* during the period from 2000 to 2024, we sought to identify priority researching areas, the evolution of the topics addressed and the practical implications of the adoption of genetically modified corn. This document will explore the different perspectives and relevant findings emerging from scientific literature, providing a comprehensive and updated view of the global genetically modified corn scenario.

The first section of the document highlights the theoretical trends and perspectives in the analysis of genetically modified corn until March 2024. Subsequently, in the following section, the techniques used in the bibliometric analysis are detailed, which included the use of *VOSviewer* for data processing. The study units were original scientific articles related to genetically modified corn indexed in *ScienceDirect* (2000-2024). Subsequently, the results from the years 2000 to 2024 on such scientific production are examined, leading to the conclusion of a significant year on year increase in the productivity of scientific articles on this topic.

Theoretical framework

Spatio-temporal evolution of research on transgenic corn in Latin America has shown linear growth (Santillán-Fernández et al., 2021). Challenges such as language barriers and publication trends in local journals have impacted the low citation rates of Latin American researchers (Phisanbut et al., 2020). The emergence of new biotechnology research clusters, focusing on topics such as metabolic engineering and nanotechnology, reflects the changing panorama of agricultural research (Magray et al., 2022). This integrated framework combines bibliometric analysis with a technological perspective to address global challenges in agriculture, such as food safety and climate change.

Until 2022, corn (*Zea mays* L.) had the highest worldwide level of production among cereals, surpassing wheat (*Triticum aestivum* L.) and rice (*Oryza sativa* L.),

Introducción

El maíz genéticamente modificado se ha posicionado como un tema crucial en la agenda global, abordando la necesidad imperante de conciliar la adopción de cultivos genéticamente modificados con la conservación del ambiente, la protección de la cultura local y el bienestar de las comunidades anfitrionas. En este contexto, el análisis bibliométrico de la producción científica sobre el maíz genéticamente modificado se convierte en una herramienta fundamental para comprender las tendencias, enfoques y desafíos actuales en este campo de estudio. A través de la recopilación y análisis de investigaciones publicadas en *ScienceDirect* durante el periodo de los años 2000-2024, se buscó identificar las áreas de investigación prioritarias, la evolución de los temas abordados y las implicaciones prácticas de la adopción de maíz genéticamente modificado. En este documento, se explorarán las diversas perspectivas y hallazgos relevantes que emergen de la literatura científica, brindando una visión integral y actualizada sobre el panorama del maíz genéticamente modificado a nivel mundial.

El primer apartado del documento resalta las tendencias y perspectivas teóricas en el análisis del maíz genéticamente modificado hasta marzo del 2024. Posteriormente, en el siguiente apartado, se detallan las técnicas empleadas en el análisis bibliométrico, que incluyeron el uso de *VOSviewer* para el procesamiento de datos. Las unidades de estudio fueron artículos científicos originales relacionados con el maíz genéticamente modificado indexados en *ScienceDirect* (2000-2024). Posteriormente, se examinan los resultados de los años 2000 a 2024 sobre dicha producción científica, lo que conduce a la conclusión de un aumento significativo año tras año en la productividad de artículos científicos sobre este tema.

Marco teórico

La evolución espacio-temporal de la investigación sobre maíz transgénico en América Latina ha mostrado un crecimiento lineal (Santillán-Fernández et al., 2021). Desafíos como las barreras lingüísticas y las tendencias de publicación en revistas locales han impactado las bajas tasas de citación de los estudios latinoamericanos (Phisanbut et al., 2020). El surgimiento de nuevos clústeres de investigación en biotecnología, centrados en temas como la ingeniería metabólica y la nanotecnología, refleja el panorama cambiante de la investigación agrícola (Magray et al., 2022). Este marco integrado combina el análisis bibliométrico con una perspectiva tecnológica para abordar los desafíos globales en la agricultura, como la seguridad alimentaria y el cambio climático.

serving as staple food in the diet of Latin American countries, particularly Mexico, where its importance lies in the country's food safety (FAOSTAT, 2022). Through advances in biotechnology, genetically modified corn varieties have been developed which show resistance to pests and herbicides, thus increasing productivity per unit area.

The origin of corn dates back to Mexico, where 64 different breeds were cultivated, derived from the ancient domestication process that involved its wild ancestors, Teocintle and Tripsacum, influenced by diverse environments, agricultural practices and ethnic groups. Despite the great variety of breeds in Mexico, the country does not occupy the main position in world corn production. Most of the production, 70.06%, is concentrated in five key nations, with the United States (35.42%), China (21.93%) in the lead, followed by Brazil (7.22%), Argentina (3.01%) and Mexico (2.48%) (FAOSTAT, 2022).

Unlike Mexico, the United States, China, Brazil, and Argentina emphasize the use of genetically modified corn varieties to boost their agricultural production, showing higher yields compared to traditional varieties. Research indicates a direct correlation between a country's agricultural competitiveness and the quality of research conducted within the sector. Assessing research quality can be achieved through bibliometric analysis, a methodology proposed by academics to examine and track the progression of scientific efforts through publications (FAOSTAT, 2022).

The dissemination of scientific findings through research publications serves as a fundamental means of sharing acquired knowledge, with visibility being a crucial role for researchers, their affiliated institutions and funding organizations.

The increase in scientific output in recent years, along with its inclusion in automated bibliographic databases, has underlined the importance of bibliometrics and the formulation of metrics for measuring the results of scientific and technological efforts. Bibliometric research based on published scientific articles relies on quantitative techniques, metric generation, and mathematical models to delineate the trajectory and growth of scientific efforts.

The bibliometric analysis technique is recognized as a documentary method. The main objective of employing this technique is to represent and understand the progression of a particular context or topic over a long period, thus discerning its influence and meaning (Dewi et al., 2023).

Hasta el año 2022, el maíz (*Zea mays* L.) tuvo el nivel más alto de producción a nivel mundial entre los cereales, superando al trigo (*Triticum aestivum* L.) y al arroz (*Oryza sativa* L.), sirviendo como alimento básico en la dieta de los países latinoamericanos, particularmente México, donde su importancia radica en la seguridad alimentaria del país (FAOSTAT, 2022). A través de avances en biotecnología, se han desarrollado variedades de maíz genéticamente modificadas que muestran resistencia a plagas y herbicidas, aumentando así la productividad por unidad de área.

El origen del maíz se remonta a México, donde se cultivaron 64 razas distintas, derivadas del antiguo proceso de domesticación que involucró a sus ancestros silvestres, Teocintle y Tripsacum, influenciados por diversos entornos, prácticas agrícolas y grupos étnicos. A pesar de la gran variedad de razas en México, el país no ocupa la posición principal en la producción mundial de maíz. La mayoría de la producción, el 70.06 %, se concentra en cinco naciones clave, Estados Unidos (35.42 %), China (21.93 %) a la cabeza, seguidos por Brasil (7.22 %), Argentina (3.01 %) y México (2.48 %) (FAOSTAT, 2022).

A diferencia de México, Estados Unidos, China, Brasil y Argentina enfatizan la utilización de variedades de maíz genéticamente modificadas para impulsar su producción agrícola, mostrando rendimientos más altos en comparación con las variedades tradicionales. La investigación indica una correlación directa entre la competitividad agrícola de un país y la calidad de la investigación realizada dentro del sector. La evaluación de la calidad de la investigación puede lograrse a través del análisis bibliométrico, una metodología propuesta por académicos para examinar y seguir la progresión de los esfuerzos científicos a través de publicaciones (FAOSTAT, 2022).

La difusión de los hallazgos científicos a través de publicaciones de investigación sirve como un medio fundamental para compartir el conocimiento adquirido, siendo la visibilidad un papel crucial para los investigadores, sus instituciones afiliadas y las organizaciones de financiamiento.

El aumento en la producción científica en los últimos años, junto con su inclusión en bases de datos bibliográficas automatizadas, ha subrayado la importancia de la bibliometría y la formulación de métricas para medir los resultados de los esfuerzos científicos y tecnológicos. Las investigaciones bibliométricas basadas en artículos científicos publicados dependen de técnicas cuantitativas, generación de métricas y modelos matemáticos para delinear la trayectoria y el crecimiento de los esfuerzos científicos.

Methodology

The methodology implemented to carry out this research was bibliometric analysis.

The study units are the original scientific articles that are directly related to the field of genetically modified corn, indexed in *ScienceDirect* during the 2000-2024 period. After determining the source of information for the identification of the original articles, a generic search strategy was used to retrieve the largest possible number of references published during the aforementioned period.

The keywords in Spanish “*maíz genéticamente modificado*” and in English “*genetically modified corn*” were selected. The established search criteria were: original research articles, in the period 2000-2024, in all available areas of knowledge. Which resulted in 52,332 scientific articles as of March 2024, all of them were selected for analysis. These articles come from various journals from multiple institutions around the world, all of them indexed in *ScienceDirect*.

The selected period allows us to analyze the most recent trends and patterns in research, providing an updated overview of the current state of the topic and allowing for proper management of the volume of data found. The study by Rogers et al. (2020) indicated that samples of around 1,000 articles provide a good representation of citation performance, but in this case all the citations found in the database were chosen according to the search criteria provided.

The boxes were activated so that the keywords were included in the *title*, *keywords* and *abstract*. The normalization of the results obtained from the search was carried out with the help of the bibliographic manager: Mendeley, so that duplicates were eliminated, and special characters were corrected. After cleaning the database, these were introduced into references with the help of the bibliographic manager to later export the obtained results.

The gathered information was entered into a database, which with the help of *Excel 2016* was used to perform a descriptive analysis of the variables and was also used in the *VOSviewer 1.6.8 software*. for the creation of co-authorship networks and keyword co-occurrence. Finally, the analysis of the bibliometric study was based on Dewi et al. (2023), in each productive level according to indicators of author productivity, language capacity, productivity of articles per year, thematic categories and author collaboration.

La técnica de análisis bibliométrico es reconocida como método documental. El objetivo principal de emplear esta técnica es representar y comprender la progresión de un contexto o tema en particular a lo largo de un período prolongado, discerniendo así su influencia y significado (Dewi et al., 2023).

Metodología

La metodología implementada para ejecutar esta investigación fue el análisis bibliométrico.

Las unidades de estudio son los artículos científicos originales que se relacionan de manera directa con el ámbito del maíz genéticamente modificado, indexados en *ScienceDirect* durante el periodo 2000-2024. A partir de determinar la fuente de información para la identificación de los artículos originales, se realiza una estrategia de búsqueda genérica para recuperar el mayor número posible de referencias publicadas durante el periodo antes mencionado.

Se seleccionaron las palabras clave en español *maíz genéticamente modificado* y en el idioma inglés *genetically modified corn*. Los criterios de búsqueda establecidos fueron: artículos de investigación originales, en el periodo 2000-2024, en todas las áreas del conocimiento disponibles. Los cuales dieron como resultado 52 332 artículos científicos a marzo 2024, para el análisis se seleccionaron la totalidad de ellos. Estos artículos provienen de diversas revistas de múltiples instituciones de alrededor del mundo, todas ellas indexadas en *ScienceDirect*.

El periodo seleccionado permite analizar las tendencias y patrones más recientes en la investigación, proporcionando un panorama actualizado del estado actual del tema y permite un manejo adecuado del volumen de datos encontrados. El estudio realizado por Rogers et al. (2020), indicó que muestras de alrededor de 1 000 artículos proporcionan una buena representación del rendimiento de las citas, pero en este caso se eligió la totalidad de citas arrojadas en la base de datos según los criterios de búsqueda proporcionados.

Se activaron las casillas para que las palabras clave estuvieran incluidas en el *title*, *keywords* y *abstract*. La normalización de los resultados obtenidos de la búsqueda se realizó con la ayuda del gestor bibliográfico: Mendeley, de manera que se eliminaron los duplicados, y se corrigieron los caracteres especiales. Después de hacer la limpieza de la base de datos estos fueron introducidos en las referencias con ayuda

Results

As general data, when entering search terms *genetically modified corn into the ScienceDirect* database, around 52,332 research articles were obtained in the period 2000-2024 in all areas of knowledge. An increasing trend in the production of scientific articles on the subject from 2000 to 2024 can be observed, as analyzed in the following section.

a) Productivity growth.

The genetically modified corn theme was included, where only original referred and indexed articles in the period 2000-2024 were checked, resulting in approximately 52 332 publications

Figure 1 shows a fourfold increase in the number of specialized articles on the subject during the period in question. In addition, it is important to note that most of this production is in English with 52 223 papers, while only seven were in Spanish, 100 in French and two in German.

del gestor bibliográfico para posteriormente exportar los resultados obtenidos.

La información obtenida fue introducida en una base de datos, que con la ayuda de *Excel 2016* se realizó el análisis descriptivo de las variables, se empleó además en el software *VOSviewer 1.6.8* para la creación de las redes de coautoría y concurrencia de palabras clave. Finalmente, el análisis del estudio bibliométrico se fundamentó según Dewi et al. (2023), en cada nivel productivo de acuerdo con los indicadores de productividad autorial, capacidad idiomática, productividad de artículos por año, categorías temáticas y colaboración autorial.

Resultados

Como datos generales al introducir caracteres de búsqueda *genetically modified corn*, a la base de datos de *ScienceDirect*, se obtuvieron alrededor de 52 332 artículos de investigación en el periodo 2000-2024 en todas las áreas del conocimiento. Se puede observar una tendencia creciente en la producción de artículos

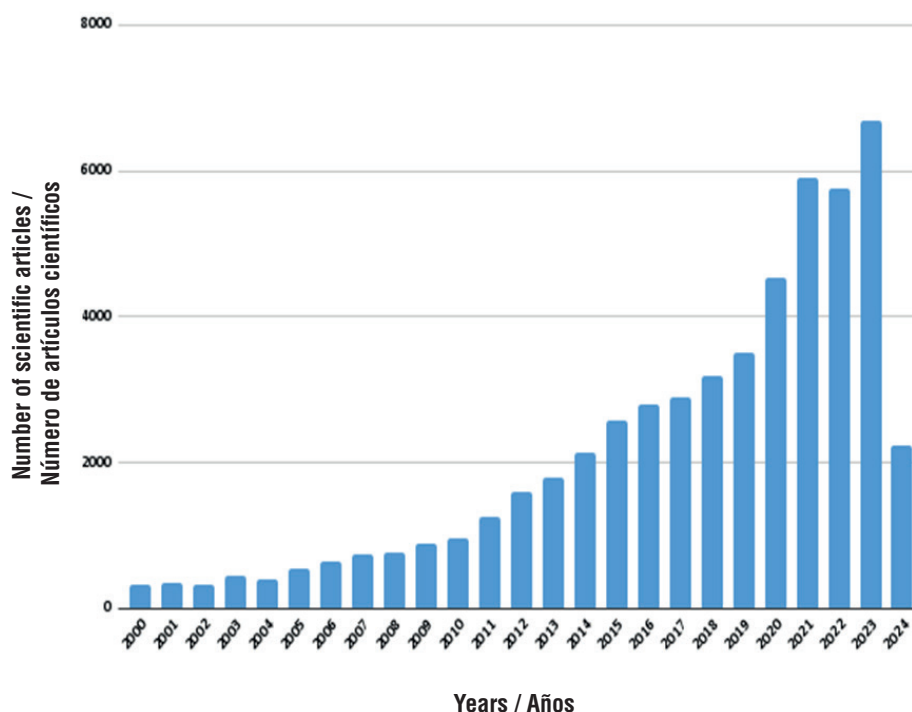


Figure 1. Number of scientific articles on genetically modified corn in the period 2000-2024, based on *ScienceDirect* data.

Figura 1. Número de artículos científicos sobre maíz genéticamente modificado en el periodo 2000-2024, con base en datos de *ScienceDirect*.

b) Productivity by area of knowledge.

Regarding the knowledge domain in which most of the articles are developed, the areas where the largest number of them are developed are Biochemistry, Genetics, Molecular Biology and Agricultural and Biological Sciences, covering more than 50% of the scientific production on the subject, followed by areas such as Medicine and Odontology, Immunology and Microbiology, Environmental Sciences and Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutical Sciences. On the other hand, disciplines such as Chemistry, as well as Veterinary Sciences and Veterinary Medicine, present fewer publications compared to those mentioned above, as illustrated in Figure 2.

A total of 52,332 original articles were analyzed during the studied period. The year 2023 stands out as the year with the highest productivity and 2000 as the year with the least amount of work on the subject; an increasing trend in scientific production on the subject is observed.

científicos del tema desde el 2000 hasta el 2024 como se analiza en el siguiente apartado.

a) Crecimiento en la productividad.

Se realizó una acotación al tema *genetically modified corn*, donde se activa la casilla solo artículos originales arbitrados e indexados en el periodo 2000-2024, lo que arroja alrededor de 52 332 publicaciones.

En la Figura 1 se puede observar un crecimiento al cuádruple de los trabajos especializados sobre el tema en el periodo señalado. Además, es importante señalar que la mayor parte de esta producción es en el idioma inglés con 52 223 trabajos, mientras que solo siete se encontraron en el idioma español, 100 en francés y dos en alemán.

b) Productividad por área del conocimiento.

En cuanto al dominio de conocimiento en el que se desarrollan la mayoría de los artículos, las áreas

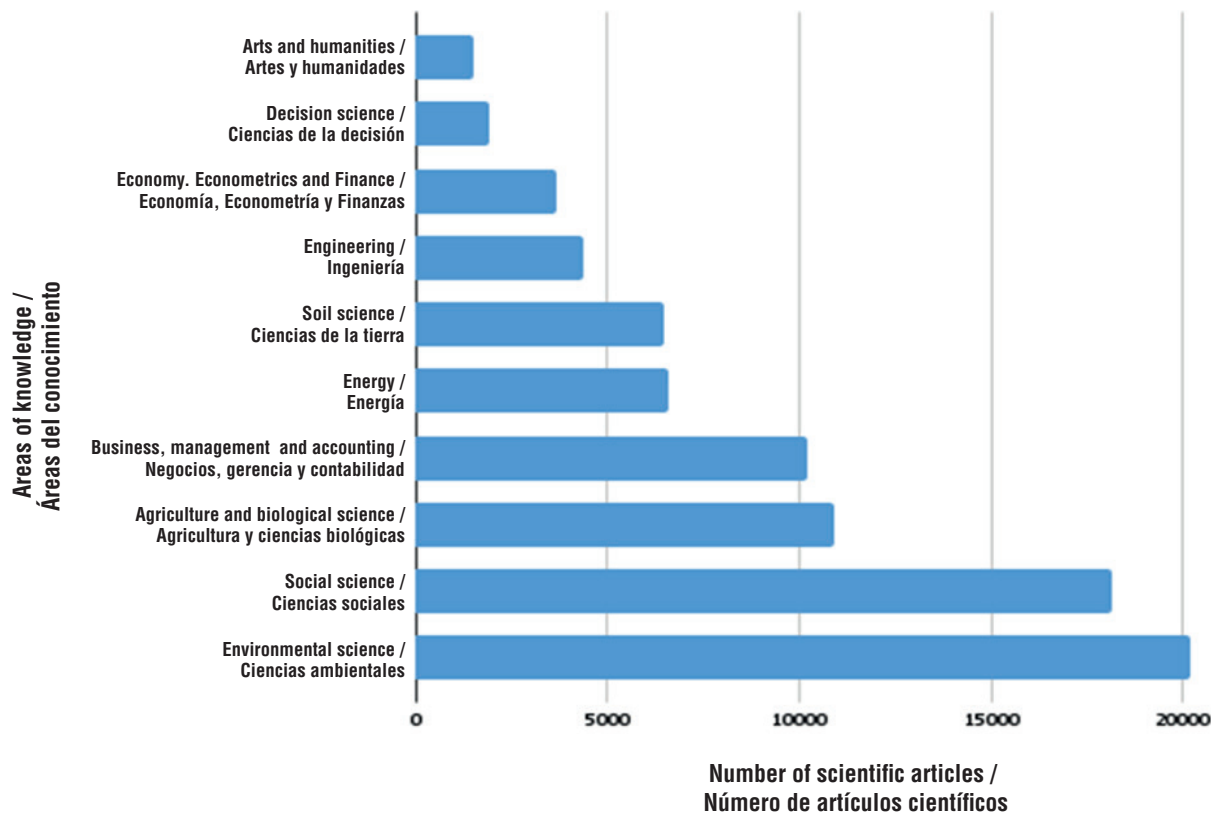


Figure 2. Publications on genetically modified corn by area of knowledge based on ScienceDirect data.
Figura 2. Publicaciones sobre maíz genéticamente modificado por área del conocimiento con base en datos de ScienceDirect

The most recent research on this topic in the studied period in the ScienceDirect database is that of authors Heinzen et al. (2024), which presents the quality of whole plant and ear silages of two hybrids, one of genetically modified corn with α -amylase expressed in the grain (AMY) and the other of isogenic corn (ISO) during four storage periods. Fermentation profiles, aerobic stability, dry mass losses, and nutrient composition were analyzed on different days of storage

Significant differences were observed between AMY and ISO in terms of fermentation profile and aerobic stability. The interaction between hybrid and storage life for DM losses ($P = 0.001$), were similar for 30, 60 and 90 days, but lower for AMY compared to ISO at 120 days. This supports the premise that amylase expressed in grain does not negatively affect silage fermentation and nutrient profile. In addition, the interaction between hybrid and storage life on DM levels was highlighted. ammoniacal nitrogen.

c) Productivity by author.

The analysis of authorial collaboration in the social sphere, illustrated in Figure 3 by nodes of different colors, reveals the presence of seventeen different clusters.

It is observed that authors who stand out are: Matias Pasquali, Andrew P. Gutierrez, Allison A. Snow, David A.

donde se desarrolla el mayor número de ellos son Bioquímica, Genética, Biología Molecular y Ciencias Agrícolas y Biológicas, abarcando más del 50 % de la producción científica sobre el tema, seguidas por áreas como Medicina y Odontología, Inmunología y Microbiología, Ciencias Ambientales y Farmacología, Toxicología y Ciencias Farmacéuticas. Por otro lado, disciplinas como Química, así como Ciencias Veterinarias y Medicina Veterinaria, presentan menos publicaciones en comparación con las mencionadas anteriormente, como se ilustra en la Figura 2.

Se analizaron 52 332 artículos originales arrojados por la plataforma, durante el periodo estudiado. Destaca el año 2023 como el de mayor productividad y el 2000 como el año de menor trabajo sobre la temática, se observa una tendencia creciente en la producción científica sobre el tema.

El trabajo más reciente sobre esta temática en el periodo estudiado en la base de datos de *ScienceDirect* es el de los autores Heinzen et al. (2024), el cual presenta la calidad de los ensilajes de planta entera y de espiga de dos híbridos, uno de maíz genéticamente modificado con α -amilasa expresada en el grano (AMY) y otro de maíz isogénico (ISO) durante cuatro periodos de almacenamiento. Se analizaron perfiles de fermentación, estabilidad aeróbica, pérdidas de materia seca y composición de nutrientes en diferentes días de almacenamiento.

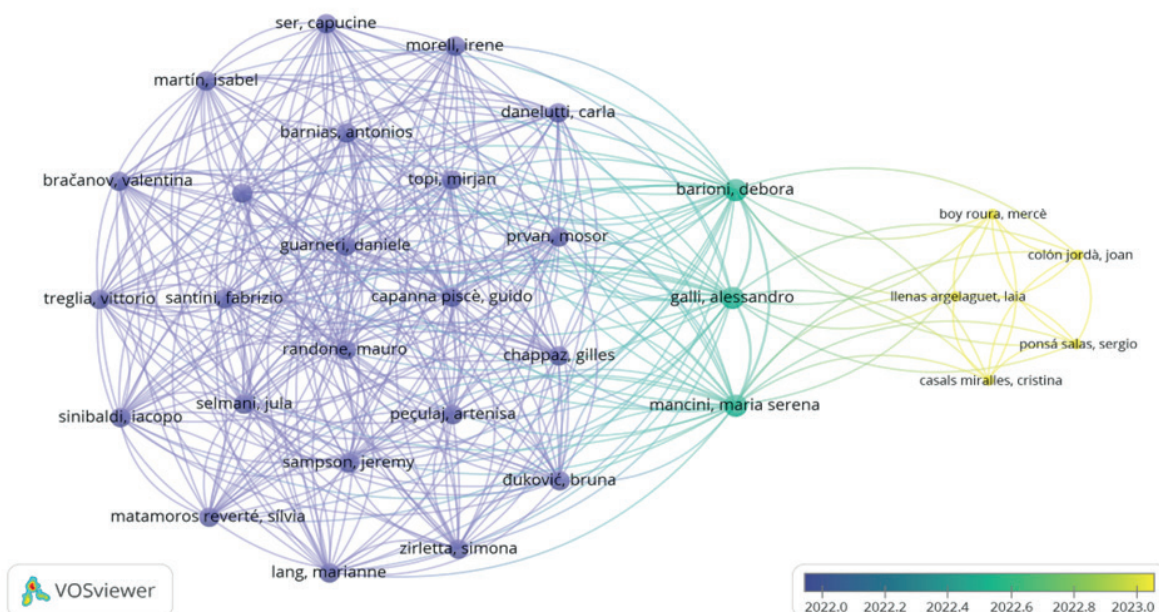


Figura 3. Author cluster.

Figura 3. Clúster de autores.

Andow, Yann Devos, Bruce E. Tabashnik, José María E. Álvarez, Jane Morris, Rod A. Herman.

Continuing with the analysis of authors distribution according to their level of productivity (small, medium and large producers) among the 2,904 authors who contribute to these works, it is observed that only 0.13% are classified as great authors, while 30.5% correspond to medium and 69.37% to small growers as shown in Table 1.

This finding suggests that most authors involved in debates on transgenic corn show low to moderate productivity levels, while only a small percentage achieve a significantly high level of production.

d) Main lines of productivity.

Mapping is used to visualize the density of terms in a network of co-occurrence of keywords or concepts in scientific articles. For example, in a map of key terms in research, the most common terms or those that appear together more frequently are more densely grouped and can be represented with a more striking size or color. Figure 4 shows that the words that appear most in the analysis are glyphosate, livestock, ethanol, corn stover, starch, biofortification, biotechnology.

Regarding glyphosate, there is a wide discussion regarding its use and management in agriculture. Glyphosate is a widely used herbicide and pesticide that was first introduced in 1974 (Franz et al., 1996). It is a synthetic organophosphate compound which is odorless and colorless (Saleem & Awan, 2023). Glyphosate is effective in weed control, and it is used in several applications such as agriculture, forestry, turf, and gardens. It is known for its wide-spectrum activity and its ability to inhibit the enzyme EPSP synthase, which

Se observaron diferencias significativas entre AMY e ISO en términos de perfil de fermentación y estabilidad aeróbica. La interacción entre el híbrido y la duración del almacenamiento para las pérdidas de MS ($P = 0,001$), fueron similares para 30, 60 y 90 días, pero menores para AMY en comparación con ISO a los 120 días. Esto respalda la premisa de que la amilasa expresada en el grano no afecta negativamente la fermentación del ensilaje y el perfil de nutrientes. Además, se destacó la interacción entre el híbrido y la duración de almacenamiento en los niveles de nitrógeno amoniacal.

c) Productividad por autor.

El análisis de colaboración autoral en el ámbito social, ilustrado en la Figura 3 mediante nodos de diversos colores, revela la presencia de diecisiete clústeres distintos.

Se observa que los autores que destacan son: Matias Pasquali, Andrew P. Gutierrez, Allison A. Snow, David A. Andow, Yann Devos, Bruce E. Tabashnik, José María E. Álvarez, Jane Morris, Rod A. Herman.

Siguiendo con el análisis de la distribución de los autores según su nivel de productividad (pequeños, medianos y grandes productores) entre los 2 904 autores que contribuyen a estos trabajos, se observa que solo el 0.13 % se clasifican como grandes autores, mientras que el 30.5 % corresponden a los medianos y el 69.37 % a los pequeños productores como se muestra en el Cuadro 1.

Este hallazgo sugiere que la mayoría de los autores que participaron en debates sobre el maíz transgénico muestran niveles de productividad de bajos a moderados, mientras que solo un pequeño porcentaje alcanza un nivel de producción significativamente alto.

Table 1. Productivity by author level based on ScienceDirect data.

Cuadro 1. Productividad por nivel de autores con base en datos de ScienceDirect.

Level / Nivel	Number of jobs / Número de trabajos	Authors / Autores	
		Number / Número	Percentage / Porcentaje
Large growers / Grandes productores	10 or more / 10 o más	5	0.13 %
Medium growers / Medianos productores	2 to 9 / 2 a 9	889	30.5 %
Small growers / Pequeños productores	1	2018	69.37 %
Total		2912	100 %

The inclusion of clay sorbents in contaminated soils has been found to reduce the bioavailability of glyphosate and its metabolite AMPA in transgenic corn, leading to a reduction in their adverse effects on plant growth (Wang et al., 2023). Transgenic corn varieties have been developed that are tolerant to glyphosate, allowing the use of glyphosate-based systems for weed control in corn crops (Yadav et al., 2019).

However, there is evidence to suggest that glyphosate and genetically modified corn may have negative effects on human health, including correlations with various diseases such as hypertension, diabetes, obesity and cancer (Swanson et al., Figure 5 presents a network that illustrates the interconnected structure of elements, such as terms, keywords, or nodes, along with their mutual relationships. This representation visualizes a set of nodes (representing individual elements) and links (denoting relationships between these elements).

Nodes can be interconnected according to various criteria, such as co-occurrence in scientific documents, topic similarity, or other relationships defined by the input data. Visualization of these networks provides a clear understanding of the interconnection and structure of elements within genetically modified corn.

El glifosato ha sido ampliamente estudiado y se ha encontrado que tiene baja toxicidad para mamíferos, aves, peces, insectos y la mayoría de las bacterias (Geiger & Fuchs, 2001). Sin embargo, existen preocupaciones sobre sus posibles efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente, incluyendo su vínculo con ciertas morbilidades y su impacto en el microbioma, los niveles de nutrientes y la salud celular (Feng et al., 2005).

Por ejemplo, en el estudio de Saleem & Awan (2023) se mencionan estudios que vinculan el glifosato con el linfoma folicular, problemas respiratorios en mujeres agricultoras, aumento de marcadores inflamatorios en el cerebro y plasma, y un mayor riesgo de cáncer en Brasil. Se destaca la importancia de regular la exposición al glifosato para reducir las enfermedades asociadas y se sugiere la formulación de políticas para proteger la salud de quienes trabajan con este compuesto y prevenir la contaminación de fuentes de agua.

El glifosato es un herbicida comúnmente utilizado en la agricultura, y tiene relación con el maíz modificado genéticamente (GM). Los estudios han demostrado que los residuos de glifosato se pueden encontrar en el maíz transgénico, con niveles que van desde no detectados hasta 0.15 mg·kg⁻¹ (Rodriguez et al., 2020).

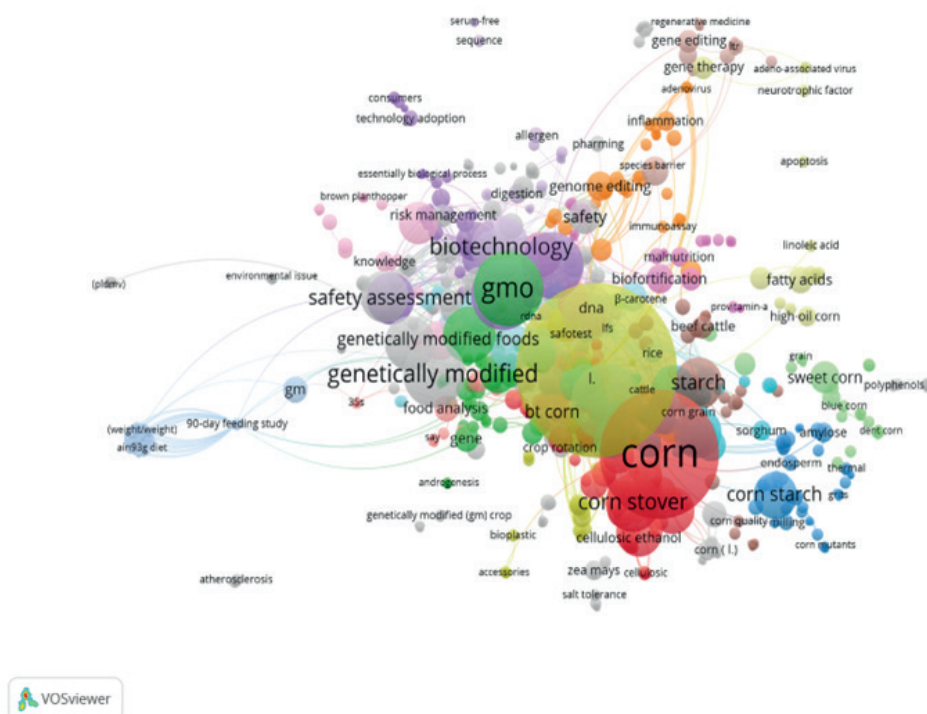


Figure 5. Network mapping of keywords based on ScienceDirect data.

Figura 5. Mapeo de redes de las palabras clave con base en datos de ScienceDirect.

well-known technique is CRISPR-Cas9, which uses a protein called Cas9 to cut DNA at specific locations. This makes it possible to add, remove, or alter genetic material. Gene editing has applications in the prevention and treatment of diseases (Accinelli et al., 2018).

Digestibility measures the level of utilization of a food by the organism. It is the proportion of nutrients that the body uses for its vital processes. For example, a meal with high digestibility ensures that nutrients are absorbed efficiently (Magray et al., 2022).

Key themes have been identified in the field of genetically modified corn analysis from January 2000 to March 2024, highlighting important trends and perspectives. Figure 6 highlights these themes, including biotechnology, gene editing, digestibility, and Bt corn (transgenic corn).

These trends reflect a multidisciplinary approach to genetically modified corn research, ranging from genetic manipulation to the assessment of its nutritional and environmental impact.

Biotechnology is emerging as a key field, harnessing biological mechanisms to address agricultural and food challenges in innovative ways.

In the *VOSviewer* context, the *overlay* refers to the ability to add or superimpose different kind of information on the same map or visualization. In Figure 7, you can see a scale that goes from blue, which represents the oldest keyword clusters, to yellow, which indicates the most recent clusters.

This analysis shows how genetically modified corn has been adapting to global changes where concepts such as regenerative medicine, immunotherapy, bioplastics and genome editing are currently gaining relevance in academic production.

Regenerative medicine is a scientific field that focuses on repairing and replacing cells, tissues, and organs to restore their normal function. It involves the use of stem cells, tissue engineering, and gene therapy to achieve that goal (Dhot et al., 2018). Genetically modified corn is not directly related to regenerative medicine. However, a study by Dhot et al. (2018) mentioned the use of biolistic transformation, a technique that involves the genetic modification of plants, including corn, to optimize the efficiency of plant regeneration.

The study by Dhot et al. (2018) aimed to evaluate the efficiency of corn plant regeneration from transformed cells using the gene bar as a selectable marker.

estas redes proporciona una comprensión clara de la interconexión y la estructura de los elementos dentro del maíz genéticamente modificado. Esto facilita la identificación de clústeres, comunidades y patrones de relación entre los elementos analizados.

En la Figura 6, se resaltan las principales tendencias y perspectivas en el análisis del maíz genéticamente modificado desde enero del 2000 hasta marzo del 2024, que incluyen un enfoque de biotecnología, edición genética, digestibilidad y maíz-Bt. El maíz-Bt es un organismo genéticamente modificado (OGM) diseñado para resistir al barrenador europeo del maíz. Contiene una proteína producida por la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt) que es tóxica para las larvas de insectos. Este maíz se utiliza en la agricultura para reducir los daños causados por las plagas (Accinelli et al., 2018).

La biotecnología implica la utilización de procesos biológicos en un contexto industrial, con el objetivo de abordar los diversos desafíos a los que se enfrenta la humanidad mediante el aprovechamiento de los principios y conocimientos sobre los mecanismos de los organismos vivos. Este campo aprovecha los organismos vivos o sus subproductos para lograr objetivos tecnológicos e industriales, como mejorar la producción de alimentos, desarrollar productos farmacéuticos y promover las prácticas agrícolas (Heinzen et al., 2024).

La edición genética es un grupo de tecnologías que permite cambiar el ADN de un organismo. Una técnica bien conocida es CRISPR-Cas9, que utiliza una proteína llamada Cas9 para cortar el ADN en ubicaciones específicas. Esto permite agregar, quitar o alterar material genético. La edición genética tiene aplicaciones en la prevención y tratamiento de enfermedades (Accinelli et al., 2018).

La digestibilidad mide el nivel de aprovechamiento de un alimento por parte del organismo. Es la proporción de nutrientes que el cuerpo utiliza para sus procesos vitales. Por ejemplo, un alimento con alta digestibilidad asegura que los nutrientes sean absorbidos eficientemente (Magray et al., 2022).

Se han identificado temas clave en el ámbito del análisis del maíz genéticamente modificado desde enero del 2000 hasta marzo del 2024, destacando importantes tendencias y perspectivas. En la Figura 6, se resaltan estos aspectos, entre los cuales se encuentran la biotecnología, la edición genética, la digestibilidad y el maíz-Bt.

Estas tendencias reflejan un enfoque multidisciplinario en la investigación del maíz transgénico,

Figura 7. Visualización del overlay desde el 2016 hasta el 2024 con base en datos de ScienceDirect.

que abarca desde la manipulación genética hasta la evaluación de su impacto nutricional y ambiental. La biotecnología emerge como un campo fundamental, aprovechando los mecanismos biológicos para abordar desafíos agrícolas y alimentarios de manera innovadora.

En el contexto del *VOSviewer*, el *overlay* se refiere a la capacidad de agregar o superponer diferentes tipos de información en un mismo mapa o visualización. En la Figura 7, se puede apreciar una escala que va desde el color azul, que representa los clústeres de palabras clave más antiguos, hasta el color amarillo, que indica los clústeres más recientes.

En este análisis se puede observar cómo el maíz genéticamente modificado se ha ido adaptando a los cambios globales donde en la actualidad toman relevancia en la producción académica conceptos como medicina regenerativa, inmunoterapia, bioplásticos y edición genómica.

13 | REVISTA CHAPINGO SERIE AGRICULTURA TROPICAL | VOL. 5, 2025

since this can be a source of biopolymers used in bioplastic production.

Discussion

In the bibliometric analysis of scientific production on genetically modified corn, an uneven distribution of the productivity of authors is observed, where the majority are classified as small growers in terms of the number of works published. This disparity may be due to several factors, such as the availability of resources, access to funding for research, collaboration with other researchers and specialization in specific areas of the subject.

On the one hand, the presence of a small percentage of large producers of scientific papers on genetically modified corn may indicate the existence of leading researchers in the field, with extensive experience and recognition in the scientific community. These large producers may be at the forefront of research, generating innovative knowledge and setting trends in the area.

On the other hand, most of the authors classified as medium and small producers represent a broader base of researchers who consistently contribute to scientific production on genetically modified corn. Although individually they may have a smaller number of publications, together they form a diverse network of collaborators who enrich the field with different approaches, methodologies and perspectives.

It is important to note that collaboration between authors of different levels of productivity can be beneficial for the advancement of knowledge in this field. Interaction between researchers with different experiences and skills can foster the generation of innovative ideas, the exchange of knowledge and the implementation of multidisciplinary research which addresses the complex challenges related to genetically modified corn.

Recent publications on this topic highlight important advances in genome editing technologies, as well as ongoing debates about their safety and efficacy. These investigations focus on the integration of innovative methods such as CRISPR/Cas, which has allowed the development of corn with improved traits. However, concerns remain regarding the experimental design and public perception of these products.

First, advances in genome editing, specifically CRISPR/Cas technology, have been revolutionary. This tool allows for precise modifications to be made in corn, targeting specific genes to improve traits such as

nica para lograr ese objetivo (Dhot et al., 2018). El maíz genéticamente modificado no está directamente relacionado con la medicina regenerativa. No obstante, un estudio de Dhot et al. (2018) mencionó el uso de la transformación biolística, técnica que implica la modificación genética de plantas, incluido el maíz, para optimizar la eficiencia de regeneración de las plantas.

El estudio de Dhot et al. (2018) tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de regeneración de plantas de maíz a partir de células transformadas utilizando la barra génica como marcador seleccionable. Si bien se centró en la regeneración vegetal, destaca la necesidad de aumentar la eficiencia de los protocolos de regeneración en la investigación de medicina regenerativa.

La inmunoterapia es un enfoque de tratamiento para enfermedades alérgicas que implica la administración de alérgenos para inducir tolerancia inmunitaria. Se ha demostrado que es eficaz para controlar las alergias al polen, como la polinosis del cedro japonés (Fukuda et al., 2018). El arroz y el maíz transgénicos se han utilizado como plataformas para la inmunoterapia oral, donde las plantas están diseñadas para expresar proteínas alergénicas (Yuki et al., 2009).

Los bioplásticos, son plásticos hechos de fuentes de biomasa como el maíz, han sido estudiados extensamente en relación con sus propiedades, aplicaciones y beneficios ambientales (Accinelli et al., 2018). La producción de PHB (polihidroxibutirato) en maíz transgénico implica la transferencia de genes bacterianos relevantes hacia la planta, lo que le permite producir el biopolímero (Sharjeel et al., 2020). Este enfoque ofrece el potencial para la producción vegetal de bioplásticos, incluido el PHB, que puede reemplazar parcialmente a los plásticos a base de petróleo y tener otras ventajas como la biodegradabilidad. Por lo tanto, existe una relación entre los bioplásticos y el maíz transgénico, ya que el maíz transgénico puede ser una fuente de biopolímeros utilizados en la producción de bioplásticos.

Discusión

En el análisis bibliométrico de la producción científica sobre el maíz genéticamente modificado, se observa una distribución desigual en la productividad de los autores, donde la mayoría se clasifican como pequeños productores en términos de cantidad de trabajos publicados. Esta disparidad puede deberse a diversos factores, como la disponibilidad de recursos, el acceso a financiamiento para la investigación, la colaboración con otros investigadores y la especialización en áreas específicas del tema.

drought resistance and yield (Hernandes-Lopes et al., 2023), (Zobrist et al., 2021). These improvements not only help address significant agricultural challenges, but also boost the productivity of crops essential to global food supply.

In addition to CRISPR/Cas, other emerging techniques have been developed that show significant promise. Methods such as Hi-Edit and IMGE have improved the efficiency of genetic transformation, facilitating the editing of corn genomes without the need for traditional tissue culture (Yassitepe et al., 2021). These innovations are allowing scientists and farmers to develop crops more quickly and with greater precision, which is crucial to respond to current demands and challenges.

Despite these advances, there are methodological and safety concerns that should not be ignored. Some recent studies using omics technologies in genetically modified maize have been criticized for their methodological shortcomings. These criticisms raise doubts about the validity of certain findings and highlight the need for more rigorous standards in research (Eriksson et al., 2018). This underlines the importance of continued vigilance and critical evaluation of the methodologies employed.

Finally, public perception and ethical issues related to genetically modified crops go on being a debate topic. Concerns about potential health risks and environmental impacts play a significant role in consumer attitudes towards genetically modified products (Sultana, 2023). Education and transparency in scientific communication are essential to address these fears and build broader, more informed acceptance of the use of biotechnology in agriculture.

In conclusion, the diversity in the productivity of authors in the field of genetically modified corn reflects the complexity and breadth of this research topic. Both large, medium and small growers contribute significantly to the advancement of knowledge in this field, each contributing their unique experience and perspective. Collaboration between researchers of different productivity levels is essential to advance research and promote sustainable development in the field of genetically modified corn.

Conclusions

The bibliometric analysis of scientific production on genetically modified corn presents a comprehensive and updated view of trends and perspectives in this field of study. Through the compilation and analysis of research published in *ScienceDirect* during the period

Por un lado, la presencia de un pequeño porcentaje de grandes productores de trabajos científicos sobre maíz genéticamente modificado puede indicar la existencia de investigadores líderes en el campo, con una amplia experiencia y reconocimiento en la comunidad científica. Estos grandes productores pueden estar a la vanguardia de la investigación, generando conocimiento innovador y estableciendo tendencias en el área.

Por otro lado, la mayoría de los autores clasificados como medianos y pequeños productores representan una base más amplia de investigadores que contribuyen de manera constante a la producción científica sobre el maíz genéticamente modificado. Aunque individualmente puedan tener una menor cantidad de publicaciones, en conjunto forman una red diversa de colaboradores que enriquecen el campo con diferentes enfoques, metodologías y perspectivas.

Es importante destacar que la colaboración entre autores de distintos niveles de productividad puede ser beneficiosa para el avance del conocimiento en este campo. La interacción entre investigadores con diferentes experiencias y habilidades puede fomentar la generación de ideas innovadoras, el intercambio de conocimientos y la realización de investigaciones multidisciplinarias que aborden los desafíos complejos relacionados con el maíz genéticamente modificado.

Las publicaciones recientes sobre este tema. subrayan importantes avances en las tecnologías de edición del genoma, además de los continuos debates sobre su seguridad y eficacia. Estas investigaciones se centran en la integración de métodos innovadores como CRISPR/Cas, lo que ha permitido el desarrollo de maíz con características mejoradas. Sin embargo, persisten preocupaciones respecto al diseño experimental y la percepción pública sobre estos productos.

En primer lugar, los avances en la edición del genoma, específicamente la tecnología CRISPR/Cas, han sido revolucionarios. Esta herramienta permite realizar modificaciones precisas en el maíz, enfocándose en genes específicos para mejorar características como la resistencia a la sequía y el rendimiento (Hernandes-Lopes et al., 2023), (Zobrist et al., 2021). Estas mejoras no solo ayudan a enfrentar desafíos agrícolas significativos, sino que también potencian la productividad de cultivos esenciales para la alimentación global.

Además de CRISPR/Cas, se han desarrollado otras técnicas emergentes que muestran promesas significativas. Métodos como Hi-Edit e IMGE han mejorado la eficiencia de la transformación genética, facilitando la edición de los genomas del maíz sin necesidad del cultivo tradicional de tejidos (Yassitepe et al., 2021).

2000-2024, primary areas of research, trends in the production of articles and the main authors addressing the topic have been identified.

One of the main conclusions is the sharpened increase in the production of articles on genetically modified corn, especially in areas such as Biochemistry, Genetics and Molecular Biology. This increase reflects the growing scientific interest in this crucial topic, which seeks to reconcile the adoption of genetically modified crops with environmental conservation, the protection of local culture and the well-being of host communities.

Mapping keyword networks and visualizing term density in a keyword co-occurrence network allow identifying the most relevant topics in research on genetically modified corn. Words such as glyphosate, livestock, ethanol, corn stover, starch, biofortification and biotechnology stand out as frequent terms in the analyses, suggesting areas of interest and focus in the scientific literature.

Furthermore, it is observed that most authors are classified as small growers in terms of productivity, indicating an unequal distribution in research contribution on genetically modified corn. This disparity in productivity among authors may influence the diversity of approaches and perspectives present in the scientific literature.

In summary, the carried out bibliometric analysis provides a detailed overview of the scientific production on genetically modified corn, highlighting priority areas of research, trends in the production of articles and the distribution of productivity among authors. These findings are essential to understand the current state of this field of study and guide future research in this field.

End of English version

References / Referencias

- Accinelli, C., Hamed, K., Abbas, W., & Shier, T. (2018). A bioplastic-based seed coating improves seedling growth and reduces production of coated seed dust. *Journal of Crop Improvement*. <https://doi.org/10.1080/15427528.2018.1425792>
- Dewi, R. S., Saputro, H., Prasetyo, A. W., & Khairina, F. (2023). Bibliometric analysis of neural basis expansion analysis for interpretable time series (n-beats) for research trend mapping. *Barekeng*. <https://doi.org/10.30598/barekengvol17iss2pp1103-1112>

Estas innovaciones están permitiendo a los científicos y agricultores desarrollar cultivos más rápidamente y con mayor precisión, lo cual es crucial para responder a las demandas y desafíos actuales.

A pesar de estos avances, existen preocupaciones metodológicas y de seguridad que no deben ser ignoradas. Algunos estudios recientes que utilizan tecnologías ómicas en el maíz modificado genéticamente han sido criticados por sus deficiencias metodológicas. Estas críticas levantan dudas sobre la validez de ciertos descubrimientos y destacan la necesidad de estándares más rigurosos en las investigaciones (Eriksson et al., 2018). Esto subraya la importancia de una vigilancia continua y una evaluación crítica de las metodologías empleadas.

Finalmente, la percepción pública y las cuestiones éticas relacionadas con los cultivos transgénicos continúan siendo un tema de debate. Las preocupaciones sobre posibles riesgos para la salud y los impactos ambientales juegan un papel significativo en las actitudes de los consumidores hacia los productos GM (Sultana, 2023). La educación y la transparencia en la comunicación científica son esenciales para abordar estos temores y construir una aceptación más amplia y fundamentada sobre el uso de biotecnología en la agricultura.

En conclusión, la diversidad en la productividad de los autores en el campo del maíz genéticamente modificado refleja la complejidad y amplitud de este tema de investigación. Tanto los grandes productores como los medianos y pequeños contribuyen de manera significativa al avance del conocimiento en este campo, cada uno aportando su experiencia y perspectiva única. La colaboración entre investigadores de diferentes niveles de productividad es fundamental para impulsar la investigación y promover un desarrollo sostenible en el ámbito del maíz genéticamente modificado.

Conclusiones

El análisis bibliométrico de la producción científica sobre el maíz genéticamente modificado presenta una visión integral y actualizada sobre las tendencias y perspectivas en este campo de estudio. A través de la recopilación y análisis de investigaciones publicadas en *ScienceDirect* durante el período 2000-2024, se han identificado áreas primordiales de investigación, tendencias en la producción de artículos y los principales autores que abordan el tema.

Una de las principales conclusiones es el marcado aumento en la producción de artículos sobre el maíz genéticamente modificado, especialmente en áreas como Bioquímica, Genética y Biología Molecular. Este

- Dhot, P. S., & Tyagi, M. S. (2018). New Horizons in Regenerative Medicine in Organ Repair. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.74241>
- Eriksson, D., Ammann, K., Chassy, B. M., & Chawade, A. (2018). Comments on two recent publications on GM maize and Roundup. *Scientific Reports*, 8(1), 13338. <https://doi.org/10.1038/S41598-018-30440-7>
- FAOSTAT. (2022). The Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. Crops. Disponible en línea: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> (consultado el 17 de febrero de 2024).
- Feng, P. G., Baley, J., Clinton, W. P., Bunkers, G. J., Alibhai, M. F., Paulitz, T. C., & Kidwell, K. K. (2005). Glyphosate inhibits rust diseases in glyphosate-resistant wheat and soybean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. <https://doi.org/10.1073/PNAS.0508873102>
- Franz, J. M. K., Mao, J. A., & Sikorski, M. K. (1996). *Glyphosate: A Unique Global Herbicide*.
- Fukuda, K., Ishida, W., Wakasa, Y., Takagi, H., Takaiwa, F., & Fukushima, A. (2018). Oral Immunotherapy for Allergic Conjunctivitis Using Transgenic Rice Expressing Hypoallergenic Antigens. *Cornea*. <https://doi.org/10.1097/ICO.0000000000001758>
- Geiger, D., & Fuchs, M. A. (2001). Inhibitors of Aromatic Amino Acid Biosynthesis (Glyphosate). https://doi.org/10.1007/978-3-642-59416-8_3
- Heinzen Jr., C., Pupo, M. R., Ghizzi, L. G., Diepersloot, E. C., & Ferraretto, L. F. (2024). Effect of a genetically-modified corn hybrid with alpha-amylase and storage length on fermentation profile and starch disappearance of whole-plant corn silage and earlage. *Journal of Dairy Science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24228>
- Hernandes-Lopes, J., Teixeira Yassitepe, J. E. de C., Koltun, A., Pauwels, L., da Silva, V. C., Dante, R. A., Gerhardt, I. R., & Arruda, P. (2023). Genome editing in maize: Toward improving complex traits in a global crop. *Genetics and Molecular Biology*, 46. <https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-2022-0217>
- Magray, J., Zargar, S., & Islam, T. (2022). Use of Metabolic Engineering/Biotechnology in Crops Breeding and Development of New Crops. https://doi.org/10.1007/978-981-16-7262-0_13
- Phisanbut, N., Nuchsiri, P., Thanapatpisarn, P., Pinthaya, S., Panpa, N., Teinlek, P., & Piamsanga, P. (2020). A framework for cross-datasources agricultural research-to-impact analysis. <https://doi.org/10.1109/ICSEC51790.2020.9375271>
- Rogers, G., Szomszor, M., & Adams, J. (2020). Sample size in bibliometric analysis. *Scientometrics*, 125(1), 777-794. <https://doi.org/10.1007/S11192-020-03647-7>
- Rodrigues, N. R. A. P., de Souza, P. P. P., Morais, D. P. V., Braga, A. C., Crivellari, L. R. G., & Favoretto, G. U. B. (2020). Residues of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in genetically modified glyphosate tolerant soybean, corn and cotton crops. *Ciencia Rural*. <https://doi.org/10.1590/0103-8478CR20190244>
- incremento refleja el creciente interés científico en este tema crucial, que busca conciliar la adopción de cultivos genéticamente modificados con la conservación del medio ambiente, la protección de la cultura local y el bienestar de las comunidades anfitrionas.
- El mapeo de redes de palabras clave y la visualización de la densidad de términos en una red de coocurrencia de palabras clave permiten identificar los temas más relevantes en la investigación sobre el maíz genéticamente modificado. Palabras como glifosato, ganadería, etanol, rastrojo de maíz, almidón, biofortificación y biotecnología destacan como términos frecuentes en los análisis, lo que sugiere áreas de interés y enfoque en la literatura científica.
- Además, se observa que la mayoría de los autores se clasifican como pequeños productores en términos de productividad, lo que indica una distribución desigual en la contribución a la investigación sobre el maíz genéticamente modificado. Esta disparidad en la productividad entre los autores puede influir en la diversidad de enfoques y perspectivas presentes en la literatura científica.
- En resumen, el análisis bibliométrico realizado proporciona una panorámica detallada de la producción científica sobre el maíz genéticamente modificado, destacando áreas prioritarias de investigación, tendencias en la producción de artículos y la distribución de productividad entre los autores. Estos hallazgos son fundamentales para comprender el estado actual de este campo de estudio y orientar futuras investigaciones en la materia.

Fin de la versión en español

- Saleem, H., & Awan, A. R. (2023). Glyphosate - A Silent, Slow Killer? *Journal of Pakistan Medical Association*. <https://doi.org/10.47391/jpma.8475>
- Santillán-Fernández, A., Salinas-Moreno, Y., Valdez-Lazalde, J. R., Carmona-Arellano, M. A., Vera-López, J. E., & Pereira-Lorenzo, S. (2021). Relationship between Maize Seed Productivity in Mexico between 1983 and 2018 with the Adoption of Genetically Modified Maize and the Resilience of Local Races. *Agriculture*. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE11080737>
- Sharjeel, A., Abbas, S., Khalid, N., Ahmad, A., & Ahmed, I. (2020). Application of Bioplastics in Agro-Based Industries and Bioremediation. https://doi.org/10.1007/978-981-16-1823-9_22
- Sultana, N. (2023). Recent Advancement in Genetically Modified Crops. *International Journal For Science Technology And Engineering*, 11(8), 1082-1086. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.55291>

- Swanson, N. L., Leu, A., Abrahamson, J., & Wallet, B. (2013). Genetically engineered crops, glyphosate and the deterioration of health in the United States of America.
- Wang, M., Rivenbark, K., & Phillips, T. D. (2023). Kinetics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid sorption onto montmorillonite clays in soil and their translocation to genetically modified corn. *Journal of Environmental Sciences-china*. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.02.006>
- Yadav, D. B., Singh, S., Singh, R., & Yadav, A. K. (2019). Glyphosate use in transgenic maize: Effect on weeds and crop productivity in North-Western Indo-Gangetic Plains of Haryana. *Indian Journal of Weed Science*. <https://doi.org/10.5958/0974-8164.2020.00076.3>
- Yassitepe, J. E. de C. T., da Silva, V. C. H., Hernandez-Lopes, J., Dante, R. A., Gerhardt, I. R., Fernandes, F. R., da Silva, P. A., Vieira, L., Bonatti, V., & Arruda, P. (2021). Maize Transformation: From Plant Material to the Release of Genetically Modified and Edited Varieties. *Frontiers in Plant Science*, 12, 766702. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2021.766702>
- Yuki, Y., Takaiwa, F., & Kiyono, H. (2009). Transgenic Rice for Mucosal Vaccine and Immunotherapy. https://doi.org/10.1007/978-4-431-99365-0_9
- Zobrist, J. D., McCaw, M., Kang, M., Eggenberger, A. L., Lee, K., & Wang, K. (2021). Genome editing of maize (pp. 341–375). Burleigh Dodds Science Publishing. <https://doi.org/10.1201/9781003048237-15>



EN

***In vitro* efficacy of eugenol against larvae of *Rhipicephalus sanguineus* sensu stricto (Acari: Ixodidae) from three provinces of Argentina**

ES

Eficacia *in vitro* del eugenol contra larvas de *Rhipicephalus sanguineus* sensu stricto (Acari: Ixodidae) de tres provincias de Argentina

Martin Rafael Daniele^{1,2}; Martin Miguel Dade^{1,2}; Jenny Jovana Chaparro-Gutiérrez³; Dora Romero Salas⁴; Roger Iván Rodríguez-Vivas^{5*}

¹Universidad Nacional de Río Negro, Sede Alto Valle y Valle Medio, Escuela de Veterinaria y Producción Agroindustrial, Choele Choel, Río Negro, Argentina. CP. 836328.

²Universidad de Ciencias Empresariales y Sociales Facultad de Ciencias de la Salud, Cañuelas, Buenos Aires, Argentina. CP.1814.

³Universidad de Antioquia, UdeA, Grupo de Investigación CIBAV, Facultad de Ciencias Agrarias, Medellín, Carrera 75 No 65-87 Bloque 47-223, Colombia, Colombia. C.P. 05003448.

⁴Universidad Veracruzana. Circunvalación s/n Esq. Yáñez, Col. Unidad Veracruzana, Veracruz, Ver., México. CP. 91710.

⁵FMVZ- Universidad Autónoma de Yucatán, Departamento de Salud Animal y Medicina Preventiva, km 15.5. carretera Mérida-Xmatkuil. Mérida, Yucatán, México. C.P. 97315

Abstract

***Corresponding author:**

rvivas@correo.uady.mx

ORCID: 0000-0002-3340-8059

Received: October 3, 2024

Accepted: January 14, 2025

Published online: March 3, 2025

The control of *Rhipicephalus sanguineus* is vital to prevent discomfort in domestic dogs as well as to reduce the risk of transmission of several zoonotic pathogens. Increased resistance and inefficiency of the most extended synthetic acaricides demonstrate the need to study into novel, effective and environmentally safe treatment options for brown dog tick control. This study aims to evaluate the acaricide activity of eugenol *in vitro* on *R. sanguineus* sensu stricto obtained in Argentina. Nine *R. sanguineus* s.s. populations from three provinces (San Luis, Buenos Aires, and Río Negro) were evaluated. The larval packet test was used to assess the toxicological response of *R. sanguineus* s.s. to eugenol. Dose-response mortality regressions, lethal concentrations at 50% (LC50), and slope were calculated by probit analysis. The concentrations that killed 50% of the tick populations studied were those with concentrations between 3.20 and 7.71 mg·mL⁻¹. In conclusion, eugenol has good acaricidal activity against the larvae of *R. sanguineus* s.s., and substantial inter-population variation in response to eugenol was found in the nine tick populations studied.

Keywords: Acaricidal activity, tick control, parasiticides, ectoparasite treatment.

Resumen

El control de *Rhipicephalus sanguineus* es vital para prevenir malestar en los perros domésticos, así como para reducir el riesgo de transmisión de varios patógenos zoonóticos. El aumento de la resistencia y la ineficiencia de los acaricidas sintéticos más extendidos demuestran la necesidad de estudiar opciones de tratamiento que sean novedosos, efectivos y ambientalmente seguros para el control de la garrapata marrón del perro. Este estudio tiene como objetivo evaluar la actividad acaricida *in vitro* del eugenol sobre *R. sanguineus* sensu stricto de Argentina. Se evaluaron nueve pobla-

ciones de *R. sanguineus* s.s. de tres provincias (San Luis, Buenos Aires y Río Negro). Se utilizó la prueba de paquete de larvas para evaluar la respuesta toxicológica de *R. sanguineus* s.s. al eugenol. Las regresiones de mortalidad dosis-respuesta, las concentraciones letales al 50 % (CL50) y la pendiente, se calcularon mediante análisis probit. Las concentraciones que mataron al 50 % de las poblaciones de garrapatas estudiadas fueron de 3.20 a 7.71 mg·mL⁻¹. En conclusión, el eugenol tiene una buena actividad acaricida contra las larvas de *R. sanguineus* s.s., encontrándose una variación sustancial entre poblaciones en respuesta al eugenol en las nueve poblaciones de garrapatas estudiadas.

Palabras clave: Actividad acaricida, control de garrapatas, parasitcidas, tratamiento de ectoparásitos.

Introduction

Rhipicephalus sanguineus parasites preferentially domestic dogs and has a cosmopolitan character, as it is globally distributed. *R. sanguineus* infests a wide range host such as wild carnivores, birds, livestock, and humans (Nava et al., 2018; Hosseini-Chegeni, 2019). Dogs are the main host of *R. sanguineus* and this tick species has high relevance in veterinary and public health due to its role as a vector of several zoonotic pathogens such as *Mycoplasma haemocanis*, *Coxiella burnetii*, *Leishmania chagasi*, *Babesia vogeli*, *Ehrlichia canis*, *Anaplasma platys*, and *Rickettsia* spp. (Oskam et al., 2017; Ipek et al., 2018; Ortega-Morales et al., 2019).

The use of synthetic acaricides continues to be the most common control strategy against *R. sanguineus*. The intensive use of synthetic acaricides exerts a strong selective pressure generating resistant tick populations to some active components such as permethrin, amitraz, fipronil, and ivermectin (Miller et al., 2001; Eiden et al., 2005; de Oliveira Filho et al., 2017; Rodríguez-Vivas et al., 2017a, b; Daniele et al., 2021).

Plant-derived products (containing botanical extracts, fractions, or isolated compounds) with acaricide activity are a strategy with huge potential to tick control (Stafford et al., 2017; Adenubi et al., 2018).

Eugenol is a phenolic compound found in essential oils of clove (*Syzygium aromaticum*), clove pepper (*Pimenta dioica*), betel pepper (*Piper betel*), basil (*Ocimum basilicum*), cinnamon (*Cinnamomum verum*), Bayrum tree (*Pimenta racemosa*), nutmeg (*Myristica fragrans*), and other plants (Raja et al., 2015). Several studies have demonstrated the wide spectrum acaricidal activity of eugenol (Monteiro et al., 2012; Valente et al., 2017; Chen et al., 2019; Coelho et al., 2020). This study aims to evaluate under controlled *in vitro* conditions the acaricide activity of eugenol on *R. sanguineus* s.s. from three Argentinean regions.

Introducción

Los parásitos *Rhipicephalus sanguineus* con preferencia en perros domésticos, poseen un carácter cosmopolita, ya que se distribuyen por todo el mundo. *R. sanguineus* infesta a una amplia gama de hospedadores, como por ejemplo carnívoros salvajes, aves, ganado y seres humanos (Nava et al., 2018; Hosseini-Chegeni, 2019). Los perros son el hospedador principal, y esta especie de garrapata tiene una gran relevancia en la salud veterinaria y pública debido a su papel como vector de varios patógenos zoonóticos, tales como: *Mycoplasma haemocanis*, *Coxiella burnetii*, *Leishmania chagasi*, *Babesia vogeli*, *Ehrlichia canis*, *Anaplasma platys* y *Rickettsia* spp. (Oskam et al., 2017; Ipek et al., 2018; Ortega-Morales et al., 2019).

El uso de acaricidas sintéticos sigue siendo la estrategia de control más común contra *R. sanguineus*. El uso intensivo de estos acaricidas ejerce una fuerte presión selectiva, que genera poblaciones de garrapatas resistentes a algunos componentes activos como permetrina, amitraz, fipronil e ivermectina (Miller et al., 2001; Eiden et al., 2015; de Oliveira Filho et al., 2017; Rodríguez-Vivas et al., 2027 a, b; 2017a, b; Daniele et al., 2021).

Los productos de origen vegetal (que contienen extractos botánicos, fracciones o compuestos aislados) con actividad acaricida, representan una estrategia con enorme potencial para el control de garrapatas (Stafford et al., 2017; Adenubi et al., 2018).

El eugenol es un compuesto fenólico presente en los aceites esenciales de clavo (*Syzygium aromaticum*), pimienta de clavo (*Pimenta dioica*), pimienta de betel (*Piper betel*), albahaca (*Ocimum basilicum*), canela (*Cinnamomum verum*), malagueta (*Pimenta racemosa*), nuez moscada (*Myristica fragrans*) y otras plantas (Raja et al., 2015). Diversos estudios han demostrado la actividad acaricida de amplio espectro del eugenol (Monteiro et al., 2012; Valente et al., 2017; Chen et al.,



Figure 1. Map of Argentina (Buenos Aires Province, San Luis Province, Río Negro Province) showing study sites where ticks were collected.

Figura 1. Mapa de Argentina (Provincia de Buenos Aires, Provincia de San Luis, Provincia de Río Negro) que muestra los sitios de estudio donde se recolectaron las garrapatas.

Materials and Methods

Study site

Ticks were collected from three provinces of Argentina (Buenos Aires, Río Negro and San Luis). The *in vitro* study was carried out at the Laboratory for Veterinary Parasitology, at National University of Río Negro (Choele Choel, Río Negro, Argentina).

In each province three sites (rural areas, veterinary hospitals and veterinary clinics) were studied (Figure 1). The minimum distance between sites was 50 km.

Ticks

Nine engorged female *R. sanguineus* populations were collected from infested dogs in the three provinces of Argentina between January and April, 2023. All engorged females were removed from dogs using fine-point forceps as close to the dog's skin as possible to collect intact mouthparts and prevent any mechanical injury to the reproductive system of the female tick and avoid any interference with egg laying as described by Gammon and Salam (2002) and the World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology guidelines (Marchiondo et al., 2013).

2019; Coelho et al., 2020). Este estudio tiene como objetivo evaluar, en condiciones controladas *in vitro*, la actividad acaricida del eugenol frente a *R. sanguineus* s.s. de tres regiones de Argentina.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Las garrapatas se recolectaron en tres provincias de Argentina (Buenos Aires, Río Negro y San Luis). El estudio *in vitro* se realizó en el Laboratorio de Parasitología Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Negro (Choele Choel, Río Negro, Argentina).

En cada provincia se estudiaron tres sitios (zonas rurales, hospitales y clínicas veterinarias) (Figura 1). La distancia mínima entre los sitios fue de 50 km.

Garrapatas

Entre enero y abril de 2023, se recolectaron nueve poblaciones de garrapatas hembra repletas de *R. sanguineus* de perros infestados en las tres provincias de Argentina. Todas las garrapatas hembra repletas se extrajeron de los perros con pinzas de punta fina lo más cerca posible de la piel del perro para recoger

Table 1. Provinces, sites, number of dogs and number of ticks *R. sanguineus* s.s. studied in Argentina.
Cuadro 1. Provincias, localidades, número de perros y número de garrapatas *R. sanguineus* s.s. estudiadas en Argentina.

Province / Provincia	Site / Localidad	No. of sampled dogs / Número de perros muestreados	No. of collected engorged females / Número de garrapatas hembra repletas colectadas
Buenos Aires	Rural area / Zona rural	4	30
	Veterinary hospital / Hospital veterinario	4	35
	Veterinary clinic / Clínica veterinaria	6	40
Río Negro	Rural area / Zona rural	4	31
	Veterinary hospital / Hospital veterinario	6	31
	Veterinary clinic / Clínica veterinaria	5	35
San Luis	Rural area / Zona rural	4	37
	Veterinary hospital / Hospital veterinario	6	34
	Veterinary clinic / Clínica veterinaria	5	35

Specimens were collected for taxonomic classification according to Walker et al. (2000) and morphological comparison with images taken from previous studies. The engorged female ticks were classified as *R. sanguineus* s.s. as previously identified in the region by Daniele et al. (2021). The collected engorged females were transported to the laboratory.

In the laboratory, the engorged females collected from dogs at each site were transferred to plastic Petri dishes with holes for the passage of air and incubated at 27–28 °C, 70–80% relative humidity, and photoperiod (LD 12: 12 h) to allow for egg laying. After 20 days the eggs were mixed and transferred to glass jars with cotton lids and incubated under the same conditions to allow the larvae to hatch. Live larvae of 14–21 days of age were used for bioassays (Rodríguez-Vivas et al., 2017a).

The studied provinces were Buenos Aires, Río Negro and San Luis. In each province, 15–20 dogs were inspected, and 4–6 (26.6–30%) were infested with *R. sanguineus* engorged females. In each province three sites were studied and one tick population from infested dogs were collected for convenience (a total of nine collection sites) (Table 1).

Eugenol

Eugenol was purchased from Sigma-Aldrich, with a certificate of ≥99% purity (Sigma-Aldrich Corp., St. Louis, MO, USA E51791). The compound was diluted in 70% ethanol (ethanol+distilled water v/v) because this solvent is not toxic to larvae of *R. sanguineus* (Calmon, 2013).

piezas bucales intactas y evitar cualquier lesión mecánica en el sistema reproductivo de la garrapata, así como cualquier interferencia con la puesta de huevos, tal como describe Gammon & Salam (2002) y en las normas de la Asociación Mundial para el Avance de la Parasitología Veterinaria (Marchiondo et al., 2013).

Los ejemplares se recolectaron para su clasificación taxonómica de acuerdo con Walker et al. (2000) así como comparación morfológica con imágenes de estudios previos. Las garrapatas hembra se llevaron al laboratorio y se clasificaron como *R. sanguineus* s.s., tal como se identificaron previamente en la región por Daniele et al. (2021).

En el laboratorio, las garrapatas hembra recolectadas y procedentes de perros en cada sitio, se colocaron en placas Petri con orificios para el paso de aire y se incubaron a 27–28 °C, 70–80 % de humedad relativa y fotoperiodo (LD 12: 12 h) para permitir la puesta de huevos. A los 20 días se mezclaron los huevos y se colocaron en frascos de vidrio con tapas de algodón y se incubaron en las mismas condiciones para permitir la eclosión de larvas. Para los bioensayos se utilizaron larvas vivas de 14–21 días de edad (Rodríguez-Vivas et al., 2017a).

Las provincias que se estudiaron fueron Buenos Aires, Río Negro y San Luis. En cada provincia se inspeccionaron entre 15 y 20 perros, 4 y 6 de ellos (26.6–30 %) estaban infestados con garrapatas hembra repletas de *R. sanguineus*. En cada provincia se estudiaron tres localidades, y se recolectó una población de garrapatas de los perros infestados por conveniencia (un total de nueve sitios de recolección) (Cuadro 1).

Larval packet test

To test the susceptibility of the nine tick populations the larval packet test was used. From an approximately 100 larvae of *R. sanguineus* s.s. were placed on Whatman paper envelopes using a brush no. 4 in 6 x 6 cm, closed using clips and 90 µ of the solution to be challenged was added to both surfaces, then taken to the incubator at 27 °C temperature and 80% relative humidity for 24 hours. After this time the packages were opened, and the mortality rates were obtained using the following formula.

$$\frac{\text{total number of dead larvae}}{\text{total number of dead larvae}} \times 100$$

The working dilutions used to determine the lethal concentration 50 (LC50) were: 0.31, 0.62, 1.25, 2.5, 5.0, 7.5, 10, 15, and 30 mg·mL⁻¹ of eugenol in distilled water. Each working dilution was challenged in triplicate and as a negative control 70% ethanol

Data analysis

The mortality records of each bioassay were analyzed by Probit analysis using Polo Plus programme (LeOra software, Inc., Berkeley, CA, U.S.A.). This analysis provided estimations of 50% lethal concentration values and associated 95% confidence intervals. Lethal concentrations to kill 50% (LC50) of tick populations and their respective 95% confidence intervals (CI95) were calculated for each tick population.

Results and Discussion

The results of probit analysis to estimate the LC50 of eugenol in each tick population, are presented in Table 2. The concentration that killed 50% of the tick populations studied were from 3.20 to 7.71 mg/mL. The lowest LC50 was 2.10 mg·mL⁻¹ (1.6-2.7 CI95) in *R. sanguineus* s.s. larvae from a veterinary clinic of Buenos Aires and the highest LC50 was 7.71 mg·mL⁻¹ (6.2-9.6) in the population collected from the rural zone of Río Negro. All tick population in the Río Negro provinces had the highest LC50.

In recent years, knowledge and interest in the field of herbal medicine, phytotherapy and plant-based products have increased (Adenubi et al., 2018; Mendel, et al., 2019). Among the isolated compounds that showed acaricide properties in different species is eugenol (Brown et al., 1998). In *in vitro* studies, eugenol disrupted the oviposition (Brown et al., 1998), showed larvicidal and acaricidal activity (Monteiro et al., 2012; Valente et al., 2014) and exhibited repellent properties against *R. microplus* (Zeringota et al., 2013). A previous

Eugenol

El eugenol se adquirió en Sigma-Aldrich, con un certificado de pureza ≥ 99 % (Sigma-Aldrich Corp., St. Louis, MO, EE. UU. E51791). El compuesto se diluyó en etanol al 70 % (etanol + agua destilada v/v) porque este disolvente no es tóxico para las larvas *R. sanguineus* (Calmon, 2013).

Prueba de paquetes de larvas

Para comprobar la susceptibilidad de las nueve poblaciones de garrapatas, se utilizó la prueba de paquete de larvas. Se colocaron aproximadamente 100 larvas *R. sanguineus* s.s. en sobres de papel Whatman con ayuda de un pincel nº 4 de 6 x 6 cm, los sobres se cerraron con broches y se añadieron 90 µ de la solución a evaluar en ambas superficies, después se llevaron a la incubadora a 27 °C de temperatura y 80 % de humedad relativa durante 24 horas.

Transcurrido este tiempo se abrieron los sobres y se obtuvieron las tasas de mortalidad mediante la siguiente fórmula.

$$\frac{\text{total larvas muertas}}{\text{total larvas vivas}} \times 100$$

Las diluciones de trabajo utilizadas para determinar la concentración letal 50 (CL50) fueron: 0.31, 0.62, 1.25, 2.5, 5.0, 7.5, 10, 15 y 30 mg·mL⁻¹ de eugenol en agua destilada. Cada dilución de trabajo se evaluó por triplicado y como control negativo se utilizó etanol al 70 %.

Análisis de datos

Los registros de mortalidad de cada bioensayo se analizaron mediante un análisis probit utilizando el programa Polo Plus (LeOra Software, Inc., Berkeley, CA, EE. UU.). Este análisis proporcionó estimaciones de los valores de concentración letal del 50 % e intervalos de confianza asociados del 95 %. Se calcularon las concentraciones letales para matar al 50 % (CL50) de las poblaciones de garrapatas y sus respectivos intervalos de confianza al 95 % (IC95) para cada población de garrapatas.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 2 se muestran los resultados del análisis probit para estimar la CL50 de eugenol en cada población de garrapatas. La concentración que mató al 50 % de las poblaciones de garrapatas estudiadas fue de 3.20 a 7.71 mg·mL⁻¹. La CL50 más baja fue de 2.10 mg·mL⁻¹ (1.6-2.7 IC95) en larvas *R. sanguineus* s.s. provenientes de una clínica veterinaria de Buenos Aires, y la CL50

Table 2. Lethal concentration 50% (mg·mL⁻¹), slope, and 95% confidence interval of eugenol in *R. sanguineus* s.s. larvae from three different provinces of Argentina.
Cuadro 2. Concentración letal 50% (mg·mL⁻¹), pendiente e intervalo de confianza al 95% de eugenol en larvas de *R. sanguineus* s.s. de diferentes tres provincias de Argentina.

Province/ Provincia	Site / Sitio	LC50 / CL50 mg·mL ⁻¹ *	CI95 mg·mL ⁻¹	Slope / Pendiente
San Luis	Veterinary hospital / Hospital veterinario	3.20a	2.38 – 4.7	1.57
	Veterinary Clinic/ Clínica veterinaria	2.94a	2.5 – 4.0	1.81
	Rural area / Zona rural	4.66b	3.6 – 6.2	1.91
Buenos Aires	Veterinary hospital / Hospital veterinario	3.91b	3.0 – 5.4	1.67
	Veterinary Clinic / Clínica veterinaria	2.10a	1.6 – 2.7	1.7
	Rural area / Zona rural	3.12a	2.4 – 4.1	1.71
Río Negro	Veterinary hospital / Hospital veterinario	5.52b	4.4 – 6.8	2.31
	Veterinary Clinic / Clínica veterinaria	5.50b	4.1 – 7.3	1.80
	Rural area / Zona rural	7.71b	6.2 – 9.6	2.1

* Different letters in the column show significant differences. LC = Lethal concentration, CI = confidence interval
* Letras diferentes en la columna indican diferencias significativas. CL = Concentración letal, IC = Intervalo de confianza

study showed 100 % of mortality of *R. microplus* and *Dermacentor nitens* larvae using a dose of 5.0 µl·mL⁻¹ of eugenol (Monteiro et al., 2012). In Brazil, *R. sanguineus* s.l. larvicidal efficacy was reported between 64 and 95 % using doses of 5 and 10 mg·mL⁻¹ of eugenol (Coehlo et al., 2020). In the present study, eugenol concentration of 3.20-7.71 mg·mL⁻¹ killed 50% of all tick populations. This acaricidal activity is attributed to the neurotoxic effect that eugenol has when binding to the octopamine receptors in the tick cells (Enan, 2001).

In this study a substantial inter-population variation in the response of *R. sanguineus* s.s. to eugenol was found. The three tick populations of the province Río Negro needed significant higher concentration of eugenol to kill 50% of the populations. To date there is no report of resistance of *R. sanguineus* to eugenol and this variation in susceptibility to different populations of ticks might be due to the biological variation or cross resistance of tick populations. However, amitraz, a commercially acaricide, acts on the octopamine receptors that produces a hypersensitivity and death of ticks (Rodríguez-Vivas et al., 2014), which is similar to the mechanism so far identified of eugenol in arthropods. Amitraz is an acaricide used for the control of ticks and mites in dogs from Argentina (Daniele et al., 2021) and it might be selected individual resistance of *R. sanguineus* as it was found in Panama (Miller et al., 2001) and Mexico (Rodríguez-Vivas et al., 2017b). In future studies, it is necessary to know if there is resis-

más alta fue de 7.71 mg·mL⁻¹ (6.2-9.6 IC95) en la población recolectada de la zona rural de Río Negro. Todas las poblaciones de garrapatas en la provincia de Río Negro tuvieron la CL50 más alta.

La Figura 2 muestra la mortalidad, dependiendo de la dosis de eugenol para matar larvas de *R. sanguineus* s.s. de tres diferentes provincias de Argentina.

En los últimos años han aumentado los conocimientos y el interés en el campo de la fitoterapia y los productos a base de plantas (Adenubi et al., 2018; Mendel et al., 2019). Entre los compuestos aislados que han mostrado propiedades acaricidas en diferentes especies se encuentra el eugenol (Brown et al., 1998). En estudios *in vitro*, el eugenol interfirió en la oviposición (Brown et al., 1998), mostró actividad larvicida y acaricida (Monteiro et al., 2012; Valente et al., 2014) y presentó propiedades repelentes frente a *R. microplus* (Zeringota et al., 2013). Un estudio previo mostró una mortalidad del 100 % en larvas de *R. microplus* y *Dermacentor nitens* utilizando una dosis de 5.0 µl·mL⁻¹ de eugenol (Monteiro et al., 2012). En Brasil, se reportó una eficacia larvicida de *R. sanguineus* s.s. entre 64 y 95 % con dosis de 5 y 10 mg·mL⁻¹ de eugenol (Coehlo et al., 2020). En el presente estudio, una concentración de eugenol de 3.20-7.71 mg·mL⁻¹ mató al 50 % de todas las poblaciones de garrapatas. Esta actividad acaricida se atribuye al efecto neurotóxico que el eugenol ejerce al unirse a los receptores de octopamina en las células de la garrapata (Enan, 2001).

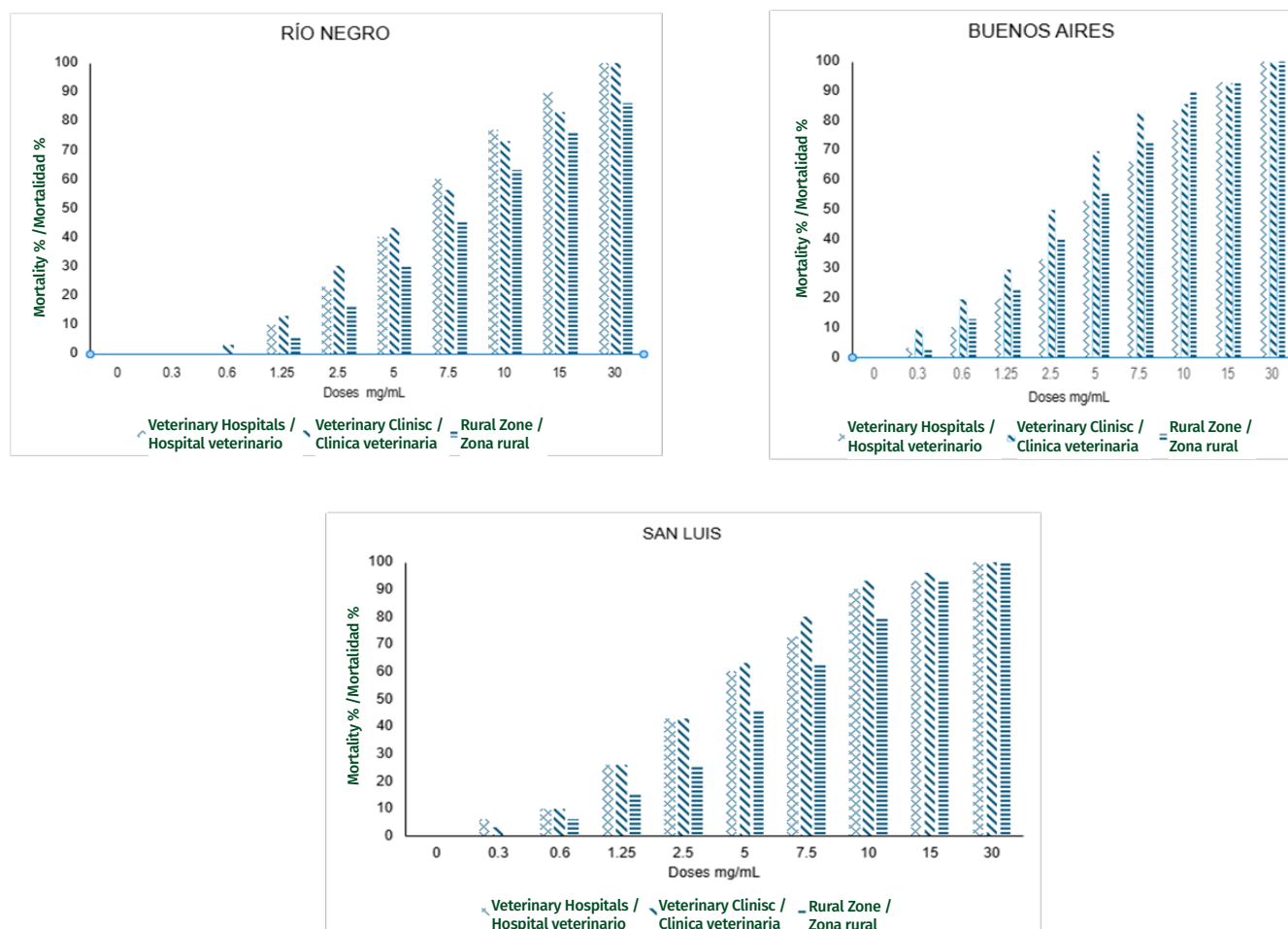


Figure 2. Mortality depending on the dose of eugenol to kill *R. sanguineus* s.s. larvae from three different provinces of Argentina.
Figura 2. Mortalidad dependiendo de la dosis de eugenol para matar larvas de *R. sanguineus* s.s. de tres diferentes provincias de Argentina.

tance of *R. sanguineus* to eugenol in some tick populations, as well as the existence of a cross reaction with another commercial acaricide such as amitraz.

Conclusions

Eugenol showed good acaricidal activity against larvae of *R. sanguineus* s.s. A substantial inter-population variation in the response of *R. sanguineus* to eugenol was found in the nine tick populations studied (LC50 from 2.1 to 7.7 mg·mL⁻¹).

End of English version

References / Referencias

Adenubi, O.T., Ahmed, A.S., Fasina, F.O., McGaw, L.J., Eloff, J.N. & Naidoo, V. (2018). Pesticidal plants as a possible alternative to synthetic acaricides in tick control: A systematic review and meta-analysis. *Industrial Crops and Products*, 123, 779-806. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.075>

En este estudio se encontró una variación inter-poblacional sustancial en la respuesta de *R. sanguineus* s.s. frente al eugenol. Las tres poblaciones de garrapatas de la provincia de Río Negro requirieron una concentración significativamente mayor de eugenol para matar al 50 % de la población. Hasta la fecha, no hay reportes de resistencia de *R. sanguineus* al eugenol, y esta variación en la susceptibilidad entre diferentes poblaciones de garrapatas podría deberse a la variabilidad biológica o a una posible resistencia cruzada. Sin embargo, el amitraz, un acaricida comercial, actúa sobre los receptores de octopamina, produciendo hipersensibilidad y muerte en las garrapatas (Rodríguez-Vivas et al., 2014), un mecanismo similar al identificado hasta ahora para el eugenol en artrópodos. En Argentina, el amitraz es un acaricida que se utiliza para el control de garrapatas y ácaros en perros (Daniele et al., 2021), y podría ser una resistencia individual seleccionada de *R. sanguineus*, como se encontró en Panamá (Miller et al., 2001) y México (Rodríguez-Vivas et al., 2017b). En estudios futuros, es necesario determinar si *R. sanguineus* presenta resistencia al eugenol.

Araújo, L.X., Novato, T.P.L., Zeringota, V., Maturano, R., Melo, D., Da Silva, B.C., Daemon, E., Carvalho, M.G. & Monteiro, C.M. (2016). Synergism of thymol, carvacrol and eugenol in larvae of the cattle tick, *Rhipicephalus microplus*, and brown dog tick, *Rhipicephalus sanguineus*. *Medical and Veterinary Entomology*, 30(4), 377-382. <https://doi.org/10.1111/mve.12181>.

Becker, S., Webster, A., Doyle, R.L., Martins, J.R., Reck, J. & Klafke, G.M. (2019). Resistance to deltamethrin, fipronil and ivermectin in the brown dog tick, *Rhipicephalus sanguineus* sensu stricto, Latreille (Acari: Ixodidae). *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 10(5), 1046-1050. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2019.05.015>

Bendre, R.S., Rajput, J.D., Bagul, S.D., & Karandikar, P.S. (2016). Outlooks on medicinal properties of eugenol and its synthetic derivatives. *Natural Products Chemistry & Research*, 4(212), 2. <https://doi.org/10.4172/2329-6836.1000212>

Brown, H.A., Minott, D.A., Ingram, C.W., Williams, L.A.D. (1998). Biological activities of the extracts and constituents of pimento, *Pimenta dioica* L. against the southern cattle tick, *Boophilus microplus*. *Insect Science and Its Application*, 18, 9-16. <https://doi.org/10.1017/S1742758400007402>

Calmon, F. (2013). Avaliação da toxicidade de solventes e surfactante sobre os estágios imaturos de *Rhipicephalus sanguineus* e *Amblyomma cajennense* (Acari: Ixodidae) e estudos preliminares sobre ectoparasitos de aves silvestres de fragmentos de Mata Atlântica na Zona da Mata de Minas Gerais. Master's Thesis. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.

Chen, Z., van Mol, W., Vanhecke, M., Duchateau, L., & Claerebout, E. (2019). Acaricidal activity of plant-derived essential oil components against *Psoroptes ovis* *in vitro* and *in vivo*. *Parasites & Vectors*, 12(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13071-019-3654-x>.

Coelho, L., de Paula, L.G.F., Alves, S.D.G.A., Sampaio, A.L.N., Bezerra, G. P., Vilela, F.M.P., da Silva Matos, R., Zeringôta, V., Borges, L.M.F. & Monteiro, C. (2020). Combination of thymol and eugenol for the control of *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato: Evaluation of synergism on immature stages and formulation development. *Veterinary Parasitology*, 277, 108989. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2019.108989>

Daniele, M.R., Dade, M.M., Alvarez, J.D., Reynaldi, F.J., Errecalde, R.O., Rodríguez-Vivas, R.I. (2021). Current status of resistance to ivermectin in *Rhipicephalus sanguineus* sensu stricto infesting dogs in three provinces in Argentina. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 26, 100624. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2021.100624>

de Oliveira, Filho, J.G., Ferreira, L.L., Sarria, A.L.F., Pickett, J.A., Birkett, M.A., Mascarín, G.M., Pérez de León, A. & Borges, L. M. F. (2017). Brown dog tick, *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato, infestation of susceptible dog hosts is reduced by slow release of semiochemicals from a less susceptible host. *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 8(1), 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2016.10.010>

Eiden, A.L., Kaufman, P.E., Oi, F.M., Allan, S.A. & Miller, R.J. (2015). Detection of permethrin resistance and fipronil tolerance

em algumas populações de garrapatas, así como evaluar la existencia de una reacción cruzada con otros acaricidas comerciales, como el amitraz.

Conclusiones

El eugenol mostró buena actividad acaricida frente a larvas de *R. sanguineus* s.s. Se encontró variación inter-poblacional sustancial en la respuesta de *R. sanguineus* al eugenol en las nueve poblaciones de garrapatas estudiadas (CL50 de 2.1 a 7.7 mg·mL⁻¹).

Fin de la versión en español

in *Rhipicephalus sanguineus* (Acari: Ixodidae) in the United States. *Journal of Medical Entomology*, 52(3), 429-436. <https://doi.org/10.1093/jme/tjv005>

Enan, E.E. (2001). Insecticidal activity of essential oils: octopaminergic sites of action. *Comparative Biochemistry and Physiology*, v.30, p.325-327. [https://doi.org/10.1016/S1532-0456\(01\)00255-1](https://doi.org/10.1016/S1532-0456(01)00255-1)

Gammon, M., & Salam, G. (2002). Tick removal. *Am. Fam. Physician* 66, 643-645.

Hosseini-Chegeni, A., Nasrabadi, M., Sadat Hashemi-Aghdam, S., Oshaghi, M. A., Lotfi, A., Telmadarraiy, Z. & Sedaghat, M.M. (2019). Molecular identification of *Rhipicephalus* species (Acari: Ixodidae) parasitizing livestock from Iran. *Mitochondrial DNA Part A*, 30(3), 448-456. <https://doi.org/10.1080/24701394.2018.1546298>

Ipek, N.D.S., Özübek, S. & Aktas, M. (2018). Molecular evidence for transstadial transmission of *Ehrlichia canis* by *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato under field conditions. *Journal of Medical Entomology*, 55(2), 440-444. <https://doi.org/10.1093/jme/tjx217>

Marchiondo, A.A., Holdsworth, P.A., Green, P., Blagburn, B.L. & Jacobs, D.E. (2013). World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology (W.A.V.P.) second edition: guidelines for evaluating the efficacy of parasitocides for the treatment, prevention and control of flea and tick infestations on dogs and cats, *Veterinary Parasitology*, 194(1), 84-97. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.10.028>

Mendel, M. (2019). Pharmacological and toxicological insights into veterinary phytotherapy. *Planta Medica*, v.85, n.18, KL-VET. <https://doi.org/10.1055/s-0039-3399641>

Miller, R.J., George, J.E., Guerrero, F., Carpenter, L. & Welch, J.B. (2001). Characterization of acaricide resistance in *Rhipicephalus sanguineus* (Latreille) (Acari: Ixodidae) collected from the Corozal army veterinary quarantine center, Panama. *Journal of Medical Entomology*, 38(2), 298-302. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-38.2.298>

Monteiro, C.M., Maturano, R., Daemon, E., Catunda-Junior, F.E.A., Calmon, F., Senra, T.S., Faza, A. & Carvalho, M.G. (2012). Acaricidal activity of eugenol on *Rhipicephalus*

- microplus* (Acari: Ixodidae) and *Dermacentor nitens* (Acari: Ixodidae) larvae. *Parasitology Research*, 111, 1295–1300. <https://doi.org/10.1007/s00436-012-2964-0>
- Nava, S., Beati, L., Venzal, J.M., Labruna, M.B., Szabó, M.P., Petney, T., Saracho-Bottero M.N., Tarragona, E.L., Dantas-Torres, F., Silva, M.M.S., Mangold, A.J., Guglielmone, A.A. & Estrada-Peña, A. (2018). *Rhipicephalus sanguineus* (Latreille, 1806): neotype designation, morphological re-description of all parasitic stages and molecular characterization. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 9(6), 1573-1585. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2018.08.001>
- Ortega-Morales, A.I., Nava-Reyna, E., Ávila-Rodríguez, V., González-Álvarez, V.H., Castillo-Martínez, A., Siller-Rodríguez, Q.K., Cabezas-Cruz A, Dantas-Torres F. & Almazán, C. (2019). Detection of *Rickettsia* spp. in *Rhipicephalus sanguineus* (sensu lato) collected from free-roaming dogs in Coahuila state, northern Mexico. *Parasites & Vectors*, 12(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s13071-019-3377-z>
- Oskam, C.L., Gofton, A.W., Greay, T.L., Yang, R., Doggett, S., Ryan, U.M. & Irwin, P.J. (2017). Molecular investigation into the presence of a *Coxiella* sp. in *Rhipicephalus sanguineus* ticks in Australia. *Veterinary Microbiology*, 201, 141-145. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2017.01.021>
- Raja, M.C., Srinivasan, V., Selvaraj, S. & Mahapatra, S.K. (2015). Versatile and synergistic potential of eugenol: a review. *Pharmaceutica Analytica Acta*, 6(5), 367. <https://doi.org/10.4172/2153-2435.1000367>
- Rodríguez-Vivas, R.I., Ojeda-Chi, M.M., Trinidad-Martínez, I. & De León, A.P. (2017b). First documentation of ivermectin resistance in *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato (Acari: Ixodidae). *Veterinary Parasitology*, 233, 9-13. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.11.015>
- Rodríguez-Vivas, R.I., Ojeda-Chi, M.M., Trinidad-Martínez, I. & Bolio-González, M.E. (2017a). First report of amitraz and cypermethrin resistance in *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato infesting dogs in Mexico. *Medical and Veterinary Entomology*, 31(1), 72-77. <https://doi.org/10.1111/mve.12207>
- Rodríguez-Vivas, R.I., Pérez-Cogollo, L.C., Rosado-Aguilar, J.A., Ojeda-Chi, M.M., Trinidad-Martínez, I., Miller, R.J., Li, A.Y., Pérez de León, A.A., Guerrero, F.D. & Klafke, G.M. (2014). *Rhipicephalus microplus* resistant to acaricides and ivermectin in cattle farms of Mexico. *Brazilian Journal of Veterinary Parasitology*. 23(2), 113-122. <https://doi.org/10.1590/s1984-29612014044>
- Stafford III, K.C., Williams, S.C. & Molaei, G. (2017). Integrated pest management in controlling ticks and tick-associated diseases. *Journal of Integrated Pest Management*, 8(1) 28. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmx018>
- Valente P.P., Amorim, J.M., Castilho, R.O., Leite, R.C. & Ribeiro, M.F.B. (2014). *In vitro* acaricidal efficacy of plant extracts from Brazilian flora and isolated substances against *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). *Parasitology Research*, 113, 417-423. <https://doi.org/10.1007/s00436-013-3670-2>
- Valente, P.P., Moreira, G.H.F.A., Serafini, M.F., Facury-Filho, E.J., Carvalho, A.Ú., Faraco, A.A.G., Castilho R.O. & Ribeiro, M.F. (2017). *In vivo* efficacy of a biotherapeutic and eugenol formulation against *Rhipicephalus microplus*. *Parasitology Research*, 116 (3), 929-938. <https://doi.org/10.1007/s00436-016-5366-x>
- Walker, J.B., Keirans, J.E. & Horak, I.G. (2000). Genus *Rhipicephalus* (Acari, Ixodidae). A guide to the brown ticks of the world. Cambridge: Cambridge University Press.
- Zeringóta, V., Senra, T.O.S., Calmon, F., Maturano, R., Faza, A.P., Catunda-Junior, F.E.A., Monteiro, C.M., de Carvalho, M.G. & Daemon, E. (2013). Repellent activity of eugenol on larvae of *Rhipicephalus microplus* and *Dermacentor nitens* (Acari: Ixodidae). *Parasitology Research*, 12(7), 2675-2679. <https://doi.org/10.1007/s00436-013-3434-z>



EN

Diversity of soil macrofauna in agroforestry systems with *Theobroma cacao* in Córdoba, Colombia

ES

Diversidad de la macrofauna edáfica en sistemas agroforestales con *Theobroma cacao* en Córdoba, Colombia

Camilo Sierra-Arroyo¹; Judith Martínez-Atencia^{*2}; Juan Linares-Arias¹; Jeyson Garrido-Pineda²; José Contreras-Santos²

¹Universidad de Córdoba, Departamento de Biología, Carrera 6 núm. 76-103, Montería, Colombia.

²Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia, km 13, Vía Montería – Cereté.

Abstract

***Corresponding author:**
jcmartinez@agrosavia.co
ORCID ID: 0000-0003-0492-2486

Received: November 20, 2024

Accepted: March 14, 2025

Published online: March 28, 2025

Agricultural practices place environmental pressures that compromise the physicochemical conditions of soil and, consequently, its sustainability. This leads to variations in the diversity of soil macrofauna and its ecosystem functions. In response, alternatives such as agroforestry systems (AFS) have emerged, aiming to improve edaphoclimatic properties. In Córdoba, Colombia, soil sustainability in AFS and the diversity they harbor remain unknown. This study aims to evaluate the diversity of soil macrofauna in agroforestry systems with cacao in the municipality of Tierralta, Córdoba. Sampling was conducted in nine cacao-producing farms in the study area. Soil macrofauna was collected using the TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) methodology, totaling 1 006 individuals, classified into three phyla, 10 classes, and 19 orders. Alpha and beta diversity were estimated, and functional groups present were described. A high diversity of soil macroinvertebrates was found in the cacao agroforestry systems, with 19 orders identified. The presence of detritivores and ecosystem engineers suggests positive soil regeneration and restoration. Dominant groups such as Opisthopora, Polydesmida, Hymenoptera, and Blattodea contrast with “rare” orders indicative of specific soil conditions. This highlights the potential of cacao agroforestry systems to host a significant diversity of soil macrofauna, contributing to soil sustainability in the region.

Keywords: Agroecosystems, cacao, diversity, macrofauna, soil

Resumen

Las prácticas agrícolas ejercen presiones ambientales que comprometen las condiciones físicoquímicas del suelo y, por ende, su sostenibilidad. Esto provoca variaciones en la diversidad de la macrofauna edáfica y sus funciones ecosistémicas. Ante esta situación, surgen alternativas como los sistemas agroforestales (SAF), que buscan mejorar las propiedades edafoclimáticas. En Córdoba, Colombia, se desconoce la sostenibilidad del suelo de los SAF y la diversidad que albergan. Evaluar la diversidad de la macrofauna edáfica en sistemas agroforestales con cacao en el municipio de Tierralta, Córdoba. Se realizaron muestreos en nueve fincas productoras de cacao en el área de estudio. La macrofauna edáfica se obtuvo mediante la metodología TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility), colectando un total de 1 006 individuos, clasificados en tres phyla, 10 clases y 19 órdenes. Se estimó la diversidad alfa y beta, y se describieron los grupos funcionales presentes. Se encontró una alta diversidad de macroinvertebrados edáficos en los

sistemas agroforestales de cacao con 19 órdenes identificados. La presencia de detritívoros e ingenieros del suelo sugiere una regeneración y estructuración positiva del suelo. Grupos dominantes como Opisthoptera, Polydesmida, Hymenoptera y Blattodea contrastan con órdenes “raros” indicativos de condiciones específicas del suelo. Esto evidencia el potencial de los sistemas agroforestales de cacao para albergar una diversidad significativa de macrofauna edáfica, contribuyendo a la sostenibilidad del suelo en la región.

Palabras clave: Agroecosistemas, cacao, diversidad, macrofauna, suelo.

Introduction

Soil is the surface layer of Earth's crust, defined as a natural, organized, and independent entity. Characteristics and composition result from the action of active factors such as climate, organisms, topography, and time on parent material (López, 2006; Schoonover & Crim, 2015). This resource faces different pressures on its quality and health, primarily due to human activities. These include deforestation, agricultural production, extensive livestock farming, habitat fragmentation, urbanization, and pesticide use in agriculture, among others. All these practices compromise soil sustainability as a non-renewable resource and affect its quality (Martínez et al., 2019). For this reason, there has been a shift toward soil management practices that represent an ecologically sustainable alternative for the environment and reduce the impact on soil, such as agroforestry systems (AFS). These are land-use practices that combine agricultural crops with trees in the same production unit, providing both ecological and economic benefits (Anchundia et al., 2018; François et al., 2023).

The efficiency of agroforestry systems is reflected in the improvement of soil processes, encompassing physical, chemical, and biological aspects (Suárez et al., 2015). As a result, most research on soil quality has primarily evaluated physical and chemical parameters that allow comparisons between land uses, cropping systems, cultural practices, or soil recovery levels (Koutika et al., 2005; Rousseau et al., 2010; Saviozzi et al., 2001). One of the methods for monitoring soil quality corresponds to the analysis of the diversity of macrofauna associated with the soil ecosystem, as a bioindicator community for the improvement of ecosystem processes. This community plays an important functional role by contributing to biological and ecological processes such as the decomposition of organic matter, nutrient cycling, aeration, and the formation of stable soil structures (Arias, 2021; Cabrera et al., 2011). This enables a precise understanding of the level of degradation or improvement that can occur in different agricultural systems, while also facilitating decision-making and the selection of sustainable

Introducción

El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre, definido como un ente natural, organizado e independiente. Sus propiedades y su formación resultan de la acción de factores activos como el clima, los organismos, el relieve y el tiempo sobre el material de origen (López, 2006; Schoonover & Crim, 2015). Este recurso enfrenta diversas presiones sobre su calidad y salud principalmente, debido a prácticas humanas. Entre ellas se incluyen la deforestación, la producción agrícola, la ganadería extensiva, la fragmentación del hábitat, la urbanización y el uso de pesticidas en la agricultura, entre otros. Todas estas prácticas ponen en riesgo la sostenibilidad del suelo como recurso no renovable y comprometen su calidad (Martínez et al., 2019). Es por esto por lo que en la actualidad se han optado por prácticas de manejo del suelo que representen una alternativa ecológicamente sostenible con el ambiente, y que reduzcan el impacto sobre el medio edáfico, entre ellos los sistemas agroforestales (SAF) que son prácticas de uso de la tierra que combinan cultivos agrícolas con árboles en la misma unidad de producción, proporcionando beneficios ecológicos y económicos (Anchundia et al., 2018; François et al., 2023).

La eficiencia de los SAF se refleja en la mejora de los procesos edáficos, abarcando aspectos físicos, químicos y biológicos (Suárez et al., 2015). Por lo que la mayoría de las investigaciones sobre la calidad de suelos, principalmente, han evaluado parámetros físicos y químicos que permiten hacer comparaciones entre usos de la tierra, sistemas de cultivo, prácticas culturales o niveles de recuperación del suelo (Koutika et al., 2005; Rousseau et al., 2010; Saviozzi et al., 2001). Uno de los métodos para el monitoreo de la calidad de suelo corresponde al análisis de la diversidad de la macrofauna asociada al ecosistema de suelo, como una comunidad bioindicador del mejoramiento de los procesos ecosistémicos. Debido a que esta comunidad juega un rol funcional importante al contribuir con procesos biológicos y ecológicos, como la descomposición de la materia orgánica, la ciclación de nutrientes, la aireación y la formación de estructuras estables del suelo (Arias, 2021; Cabrera et al., 2011). Posibilitando la

management practices that should be implemented (Contreras et al., 2023).

In the department of Córdoba, the area cultivated with cacao covers approximately 3 261 hectares (AGRONET, 2023). However, projections indicate a significant increase, driven by the support from national and local governments through the policies for the substitution of illicit crops and territorial pacification. In the southern region of Córdoba, specifically in the municipalities of Tierralta and Valencia, there are indigenous agroforestry systems cultivated with *Theobroma cacao* L., which are mostly productive systems that were established without technical guidelines and produce different cacao varieties (MADR, 2022).

Since land use impacts ecological aspects such as the composition, structure, taxonomic, and functional diversity of soil communities, these become highly sensitive to changes generated by land use itself (Ramírez, 2000; Salas, 1982; Suárez et al., 2015). As a result, species, in response to these environmental or ecosystem variations, develop diversity values and functional roles that allow them to react effectively and adapt to the changing environment (Córdova & Zambrano, 2015). Regarding this agro-ecological component of the department, there are no studies on soil quality monitoring that show the improvement of the properties that determine soil quality after its establishment. On the other hand, the diversity of soil macroinvertebrates associated with these productive agroecosystems is unknown because most studies have focused on monitoring natural areas such as forest remnants or protected zones, overlooking the diversity found in agroecosystems. In this context, the aim is to understand: What is the taxonomic and functional diversity of soil macrofauna associated with agroforestry systems with *T. cacao* in the municipality of Tierralta, Córdoba? Additionally, how are some physicochemical properties of the soil in agroforestry systems with *T. cacao* related to the diversity of soil macrofauna in this municipality?

Since the department of Córdoba contributes a significant percentage to the national production of agricultural and livestock components (Ballesteros-Correa et al., 2019; Vilorio, 2007), and agroforestry systems with cacao are sustainable production systems that maintain continuous vegetation cover, diversify production, and ensure an effective nutrient cycle, it is necessary to study these production systems and their relationships with biodiversity conservation in the department. This involves primarily understanding the soil communities present in the department's production systems as an indicator of soil quality, as they play a crucial role in regulating processes (nutrient cycling, organic

comprehension precisa del nivel de degradación o mejora que puede experimentar en diferentes sistemas agropecuarios. También, facilitando la toma de decisiones y la selección de prácticas de gestión sostenible que deben implementarse (Contreras et al., 2023).

En el departamento de Córdoba, el área cultivada con cacao abarca aproximadamente 3 261 hectáreas (AGRONET, 2023). Sin embargo, las proyecciones indican un incremento significativo, impulsado por el apoyo del gobierno nacional y local en sus políticas de sustitución de cultivos ilícitos y pacificación del territorio. En la zona sur de Córdoba, específicamente en los municipios de Tierralta y Valencia, se encuentran sistemas agroforestales autóctonos cultivados con la especie *Theobroma cacao* L., que en su mayoría son sistemas productivos que se establecieron sin lineamientos técnicos y que producen distintas variedades de cacao (MADR, 2022).

Dado que el uso del suelo impacta aspectos ecológicos como la composición, estructura, diversidad taxonómica y funcional de las comunidades edáficas, estas se vuelven altamente sensibles a los cambios generados a partir del mismo (Ramírez, 2000; Salas, 1982; Suárez et al., 2015). Como resultado, las especies, ante estas variaciones ambientales o ecosistémicas, desarrollan valores de diversidad y roles funcionales que les permiten reaccionar de manera eficaz y ajustarse al ambiente cambiante (Córdova & Zambrano, 2015). Frente a este componente agroecológico que alberga el departamento, no existen estudios realizados sobre el monitoreo de la calidad de suelos que logren evidenciar el mejoramiento de las propiedades que determinan la calidad a partir de su establecimiento. Por otro lado, se desconoce la diversidad de macroinvertebrados edáficos que se asocian a estos agroecosistemas productivos debido a que la mayor parte de los estudios realizados se centran en el monitoreo de áreas naturales como relictos de bosques o zonas protegidas, dejando por un lado la diversidad encontrada en los agroecosistemas. En este sentido se busca conocer ¿Cuál es la diversidad taxonómica y funcional de la macrofauna edáfica asociada a sistemas agroforestales con *T. cacao* en el municipio de Tierralta, Córdoba? Además, ¿Cómo se relacionan algunas propiedades físicoquímicas del suelo de sistemas agroforestales con *T. cacao* con la diversidad de la macrofauna edáfica en dicho municipio?

Dado que el departamento de Córdoba contribuye en gran porcentaje a la producción nacional del componente agrícola y pecuario (Ballesteros-Correa et al., 2019; Vilorio, 2007). Y los SAF con cacao son sistemas productivos sostenibles que mantienen la cobertura vegetal continua, la diversificación de la producción y

matter regulation, mineralization, modification of soil structure, and water regimes) essential for the proper functioning of natural ecosystems (Lavelle et al., 2022).

Understanding how soil functions and the effects of agricultural practices is crucial for developing sustainable production systems that promote conservation, rehabilitation, and maintenance of biodiversity and ecosystem functionality. This information not only provides viable economic options for decision-making in the short, medium, and long term but is also essential in contexts of soil restoration and rehabilitation (Contreras et al., 2023). By understanding how agricultural activity impacts soil biodiversity, sustainable management practices can be identified to promote the conservation of soil macrofauna and, therefore, improve soil health and agricultural productivity in the region. Thus, this study evaluated the taxonomic and functional diversity of soil macrofauna in agroforestry systems with cacao (*T. cacao*) in the municipality of Tierralta, Córdoba, Colombia.

Materials and methods

Approach and Nature of the Research

This study follows a quantitative approach, using a descriptive and correlational research design. The main objective is to assess the diversity of soil macrofauna in cacao agroforestry systems in the municipality of Tierralta, Córdoba, Colombia, and its correlation with the physicochemical properties of the soil. The research involves collecting and analyzing field data, employing standardized methods to evaluate both macrofauna and soil properties.

Study area

The study was conducted on nine cacao-producing farms under agroforestry systems, located in a piedmont in the municipality of Tierralta, Córdoba, Colombia. This municipality is situated in the southwestern part of the Córdoba department, with coordinates at (8° 10' 00" N and 76° 04' 00" W), average elevation of 384 MASL, reaching maximum altitudes of 2 610 MASL in its northern zone (Figure 1).

In the study area, the rainfall regime is significantly high, with volumes reaching up to 4 000 mm annually, especially in areas bordering the mountain range. The rainfall pattern is characterized by a dry season from December to March, followed by a progressive increase in precipitation starting in April, peaking in July, August, and September, and decreasing towards the end of the year (Alcaldía de Tierralta 2020; IDEAM, 2024).

el ciclo eficaz de nutrientes. Es necesario estudiar estos sistemas de producción y las relaciones que guardan con la conservación de la biodiversidad del departamento. Fundamentalmente conociendo las comunidades edáficas que se encuentran en los sistemas de producción del departamento como un indicador de la calidad del suelo, debido a que juegan un papel importante en la regulación de procesos (ciclado de nutrientes, regulación de la materia orgánica, mineralización, modificación de la estructura del suelo y los regímenes hídricos) esenciales para el correcto funcionamiento de los ecosistemas naturales (Lavelle et al., 2022).

Comprender el funcionamiento del suelo y los efectos de las prácticas agrícolas es crucial para desarrollar sistemas de producción sostenibles que promuevan la conservación, rehabilitación y mantenimiento de la biodiversidad y funcionalidad del ecosistema. Esta información no solo ofrece opciones económicas viables para la toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo, sino que también es fundamental en contextos de restauración y rehabilitación del suelo (Contreras et al., 2023). Al comprender cómo la actividad agrícola impacta en la biodiversidad del suelo, se identifican prácticas de manejo sostenibles que promuevan la conservación de la macrofauna edáfica y, por ende, mejoren la salud del suelo y la productividad agrícola en la región. Por tanto, este estudio evaluó la diversidad taxonómica y funcional de la macrofauna edáfica en sistemas agroforestales con cacao (*T. cacao*) en el municipio de Tierralta, Córdoba, Colombia.

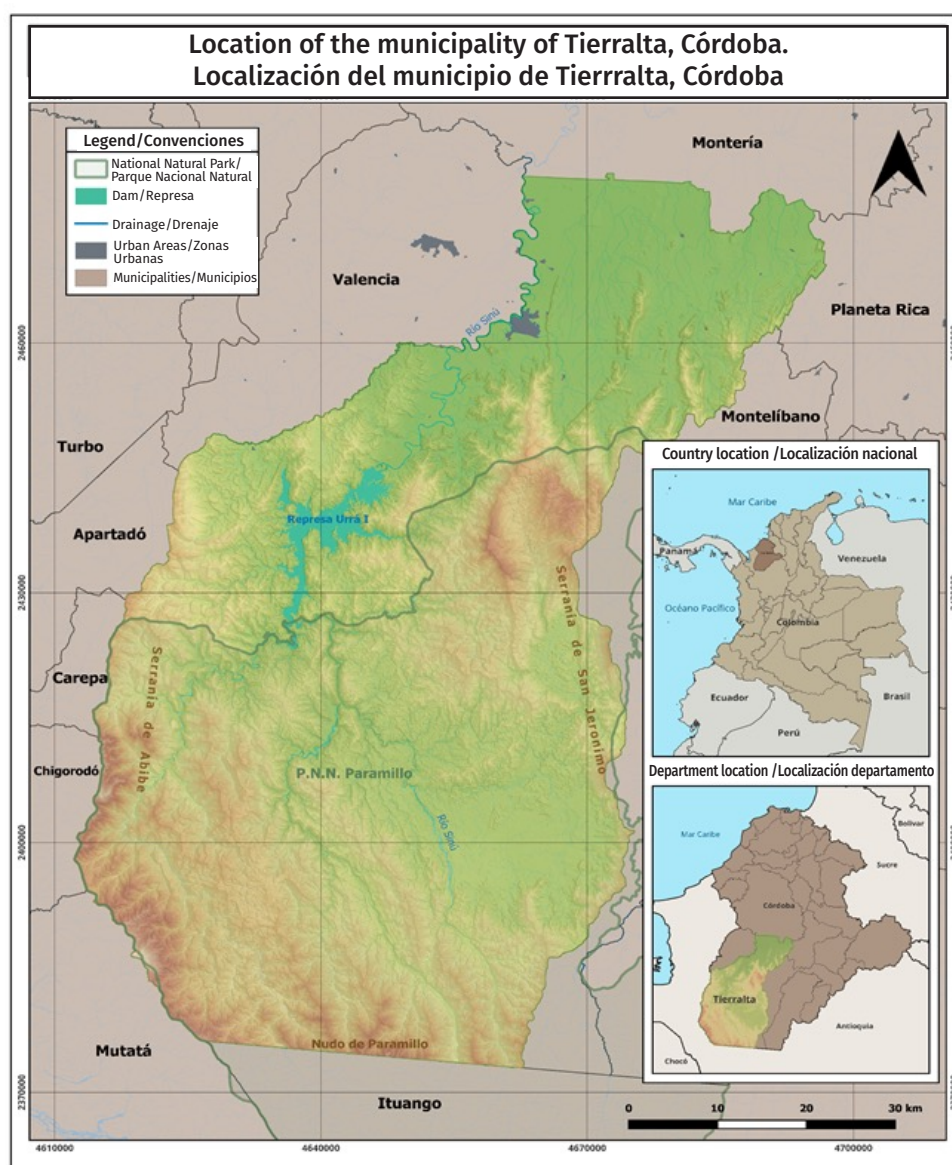
Materiales y métodos

Enfoque y naturaleza de la investigación

Este estudio se enmarca en un enfoque cuantitativo, con un diseño de investigación descriptivo y correlacional. El objetivo principal es evaluar la diversidad de la macrofauna edáfica en sistemas agroforestales con cacao en el municipio de Tierralta, Córdoba, Colombia y su relación con las propiedades físicoquímicas del suelo. La investigación se basa en la recolección y análisis de datos de campo, utilizando metodologías estandarizadas para la evaluación de la macrofauna y las propiedades del suelo.

Área de estudio

El estudio se realizó en nueve fincas productoras de cacao bajo sistemas agroforestales, ubicadas en una zona de piedemonte dentro del municipio de Tierralta, Córdoba, Colombia. Dicho municipio se encuentra en la parte suroccidental del departamento de Córdoba, con coordenadas de (8° 10' 00" N y 76° 04' 00" W), y una altitud promedio de 384 msnm, alcanzando altitudes máximas de 2 610 msnm en su zona al norte (Figura 1).



Source: Compiled by the author. / Fuente: Elaboración propia.

Figure 1. Geographical location of the municipality of Tierralta, Córdoba, Colombia

Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Tierralta, Córdoba, Colombia

Field methodology

The sampling delimitation was carried out by marking three monoliths on each farm, separated by a distance of 10 meters from each other along a linear transect with a random origin associated with the area's topography. A total of six samples were obtained per farm, differentiated by two soil depths. Sampling was conducted during two contrasting periods: the high precipitation season (October 2023) and the low precipitation season (April 2024).

Soil macroinvertebrate collection was carried out using the methodology of Anderson and Ingram (1993),

En el área de estudio, el régimen de lluvias es significativamente alto, con volúmenes que alcanzan hasta 4 000 mm anuales, especialmente en las zonas colindantes con la cordillera. El patrón de lluvias se caracteriza por una época seca de diciembre a marzo, seguida de un aumento progresivo de las precipitaciones a partir de abril, alcanzando su máximo en julio, agosto y septiembre, y decreciendo a finales de año (Alcaldía de Tierralta 2020; IDEAM, 2024).

Metodología de campo

La delimitación del área de muestreo se realizó marcando tres monolitos en cada finca, separados a una

adapted to use a 20 cm² monolith and to differentiate between two soil strata (0-5 cm and 5-20 cm). Each monolith was examined manually to collect the organisms present, using trays and entomological forceps. The specimens were stored in 70 % alcohol, except for earthworms, which were counted and released on-site.

Laboratory methodology

Samples collected in the field were transported and stored in the laboratory network of the Turipaná research center, where they were processed according to established procedures. The collected organisms were examined and classified to the order level using available information from the literature (Triplehorn et al., 2005; SEA, 2017), and their updated taxonomic level was confirmed with the help of (ITIS, 2024). Their abundances were recorded in tables designed for data collection. Moreover, they were cataloged according to their functional group based on feeding type and role within the soil ecosystem.

Data analysis

Sampling completeness was estimated using interpolation/extrapolation curves based on sample size, allowing statistical comparisons of species richness at different sample sizes (Chao & Jost, 2012). Alpha diversity was calculated using true diversity indices (Hill numbers), analyzing species richness (q_0), diversity weighted by relative abundance (q_1), and diversity centered on the most abundant species (q_2) (Jost, 2006; Chao et al., 2014). β diversity was calculated using the Jaccard similarity index in the Infostat program (Di Rienzo et al., 2010). The macrofauna were grouped into four functional guilds: ecosystem engineers, detritivores, omnivores, and predators, analyzing their density and ecological role in soil (Lavelle, 1997; Zerbino et al., 2008; Cabrera et al., 2011).

Results

In the study area, a total of 1 006 soil macroinvertebrates were collected, distributed in 3 phyla, 10 classes, and 19 orders (Table 1). Four orders represented 76.9 % of the total soil macroinvertebrate abundance: Opisthoptera (25.7 %), Polydesmida (21.4 %), Hymenoptera (20.1 %), and Blattodea (9.7 %). The remaining 23.1 % of the total abundance was represented in smaller proportions by the orders Coleoptera, Isopoda, Symphyla, Diplura, Geophilomorpha, Araneae, Julida, Hemiptera, Polyxenida, Stylogmatophora, Schizomida, Diptera, Collembola, Pseudoscorpionida, and Spirobolida (Figure 2).

The ecological structure of soil macrofauna varies according to the establishment time of the agrofor-

distancia de 10 m entre sí a lo largo de un transecto lineal con un origen al azar asociado a la topografía del área. Se obtuvieron un total de seis muestras por finca, discriminadas por dos profundidades. Los muestreos se desarrollaron en dos periodos contrastantes: en la época de alta precipitación (octubre de 2023) y en la época de baja precipitación (abril de 2024).

La colecta de macroinvertebrados del suelo se realizó por medio de la metodología de Anderson e Ingram (1993), adaptada para utilizar un monolito de 20 cm² y discriminar entre dos estratos de suelo (0-5 y 5-20 cm). Cada monolito se examinó manualmente para colectar los organismos presentes, utilizando bandejas y pinzas entomológicas. Los especímenes se almacenaron en alcohol al 70 %, excepto las lombrices de tierra, que se contaron y liberaron *in situ*.

Metodología de Laboratorio

Las muestras recolectadas en el campo se transportaron y almacenaron en la red de laboratorios del centro de investigación Turipaná, donde se procesaron según procedimientos establecidos. Los organismos recolectados fueron examinados y clasificados hasta el nivel de orden utilizando la información disponible en la bibliografía (Triplehorn et al., 2005; SEA, 2017) y corroborando su nivel taxonómico actualizado con ayuda de (ITIS, 2024). Se registraron sus abundancias en tablas diseñadas para la recolección de datos. Además, se catalogaron según su grupo funcional de acuerdo con el tipo de alimentación y rol dentro del ecosistema de suelo.

Análisis de datos

Se estimó la completitud del muestreo mediante curvas de interpolación/extrapolaciones basadas en el tamaño de la muestra, permitiendo comparaciones estadísticas de la riqueza de especies en diferentes tamaños de muestra (Chao & Jost, 2012). La diversidad alfa, se calculó utilizando índices de diversidad verdadera (números de "Hill"), analizando la riqueza de especies (q_0), la diversidad ponderada por abundancia relativa (q_1) y la diversidad centrada en las especies más abundantes (q_2) (Jost, 2006; Chao et al., 2014). La diversidad β se calculó mediante el índice de similitud de Jaccard en el programa Infostat (Di Rienzo et al., 2010). La macrofauna se agrupó en cuatro gremios funcionales: ingenieros del suelo, detritívoros, omnívoros y depredadores, analizando su densidad y rol ecológico en el suelo (Lavelle, 1997; Zerbino et al., 2008; Cabrera et al., 2011).

Resultados

En el área de estudio se recolectaron un total de 1 006 macroinvertebrados edáficos, distribuidos en 3 phyla,

Table 1. Taxonomic diversity (Phylum, class, and order) and density (ind-m²) of soil macrofauna according to years range of *T. cacao*-producing farms under SAF.

Cuadro 1. Diversidad taxonómica (Phyllum, clase y orden) y densidad (ind-m²) de macrofauna edáfica por rango de edades de las fincas productoras de *T. cacao* bajo SAF.

<i>Soil macrofauna / Macrofauna edáfica</i>			<i>SAF's years range / Rango de edades de los SAF</i>		
Phyllum	Class/Clase	Order	0 to 10 years/ 0 a 10 años	10 to 20 years/ 10 a 20 años	More than 20 years/ Más de 20 años
Clitellata	Anélida	Opisthopora	396	321	363
Arthropoda	Insecta	Hymenoptera	279	288	275
		Diptera	4	0	8
		Blattodea	217	88	104
		Hemiptera	0	21	0
		Coleoptera	63	71	92
	Euchelicerata	Araneae	33	29	8
		Schizomida	8	0	8
		Pseudoscorpionida	4	0	8
	Crustaceans	Isopoda	79	21	75
	Chilopoda	Geophilomorpha	33	29	8
	Symphyla	Symphyla	29	54	71
	Diplopoda	Julida	29	4	21
		Polydesmida	300	396	200
		Polyxenida	4	8	8
		Spirobolida	0	4	0
		Diplura	33	42	29
	Collembola	Collembola	4	4	4
Mollusca	Gastropoda	Stylommatophora	4	4	13
		Total	1519	1384	1287
		q0	16	16	17
		q1	7.2	7.9	7.8

estry system (SAF). Farms within the group of zero to ten years establishment showed a marked dominance of the taxa Opisthopora, Polydesmida, Hymenoptera, and Blattodea, in comparison to rarer taxa such as Pseudoscorpionida, Hemiptera, and Spirobolida. The slope observed in **Figures 3 and 4** demonstrates that, in these sampling sites, the community is dominated by a few taxa, resulting in the presence of many rare taxa.

On the other hand, farms with SAF with 10 to 20 years of establishment show a similar dominance of taxa, with Polydesmida being replaced by the group with the highest dominance in these sampling sites (Figure 4).

10 clases y 19 órdenes (Cuadro 1). El 76.9 % de la abundancia total de macroinvertebrados de suelo estuvo representada por cuatro órdenes: Opisthopora (25.7 %), Polydesmida (21.4 %), Hymenoptera (20.1 %) y Blattodea (9.7 %). El 23.1 % total de la abundancia quedó representada en menor proporción por los órdenes Coleoptera, Isopoda, Symphyla, Diplura, Geophilomorpha, Araneae, Julida, Hemiptera, Polyxenida, Stylommatophora, Schizomida, Diptera, Collembola, Pseudoscorpionida y Spirobolida (Figura 2).

La estructura ecológica de la macrofauna edáfica varía según el tiempo de establecimiento del sistema agro-

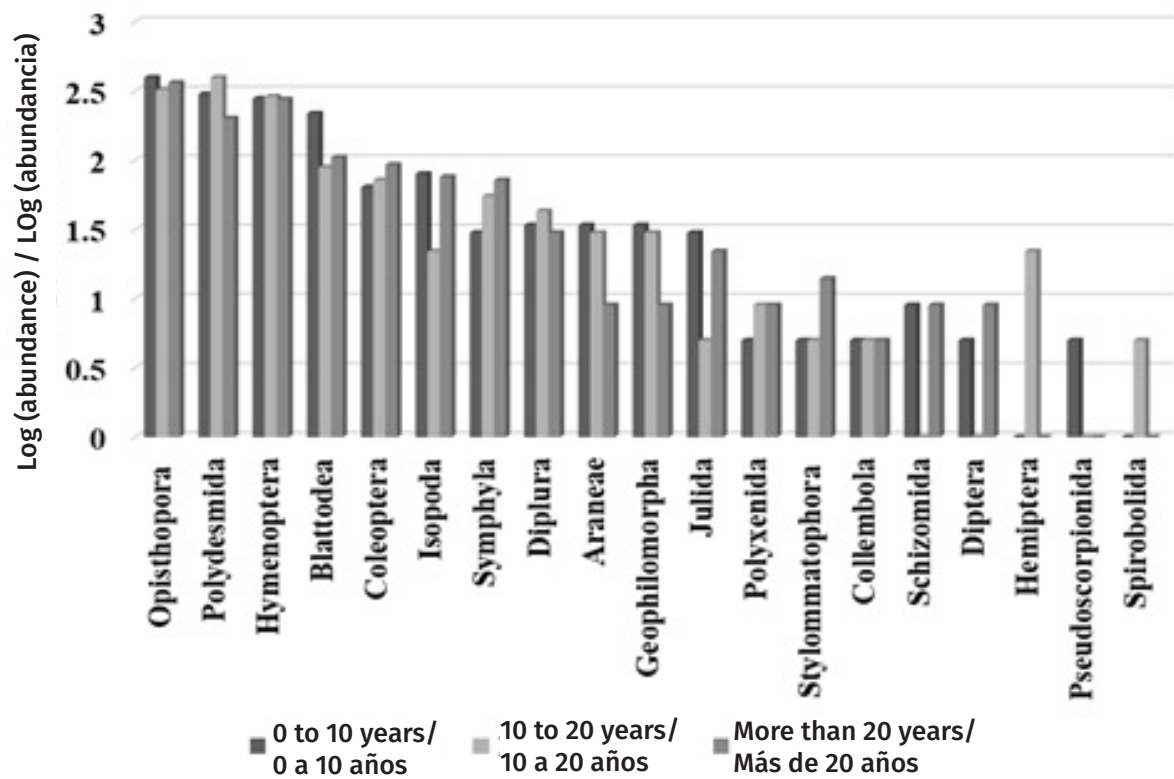


Figure 2. Soil macrofauna density according to farm years range in *T. cacao*-producing farms under agroforestry systems.
Figura 2. Densidad de la macrofauna edáfica por rango de edades de las fincas productoras de *T. cacao* bajo sistemas agroforestales.

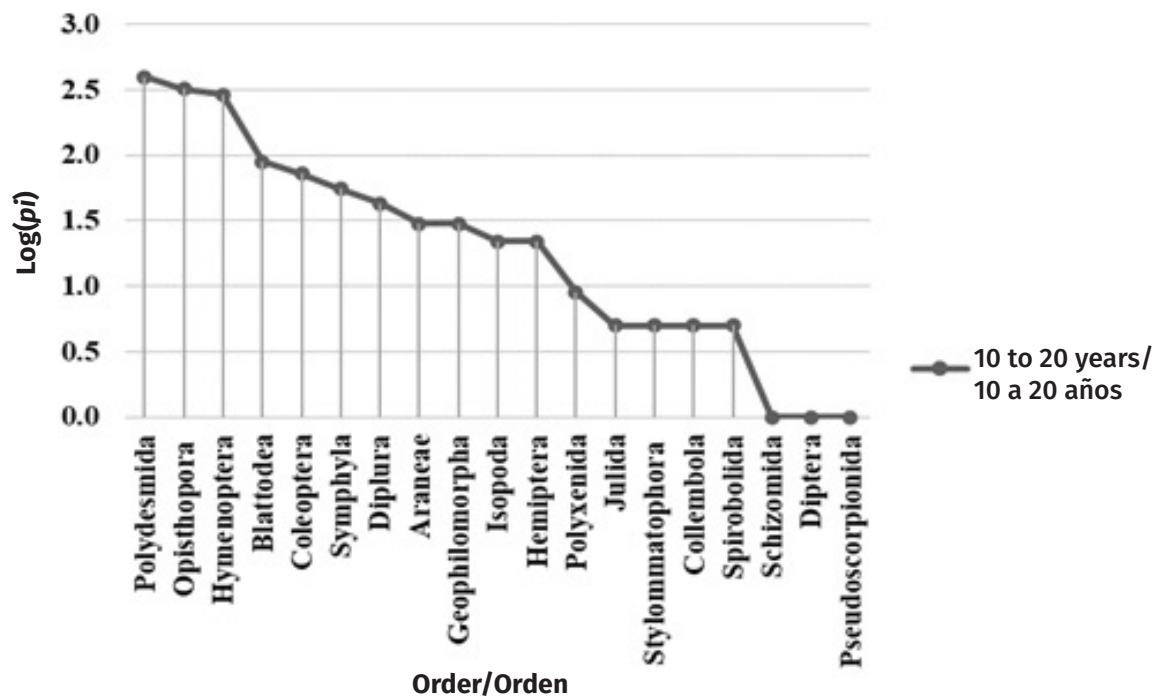


Figure 3. Abundance range of soil macrofauna in SAFs with 0 to 10 years of establishment.
Figura 3. Rango de abundancia de la macrofauna edáfica en SAF con 0 a 10 años de establecimiento.

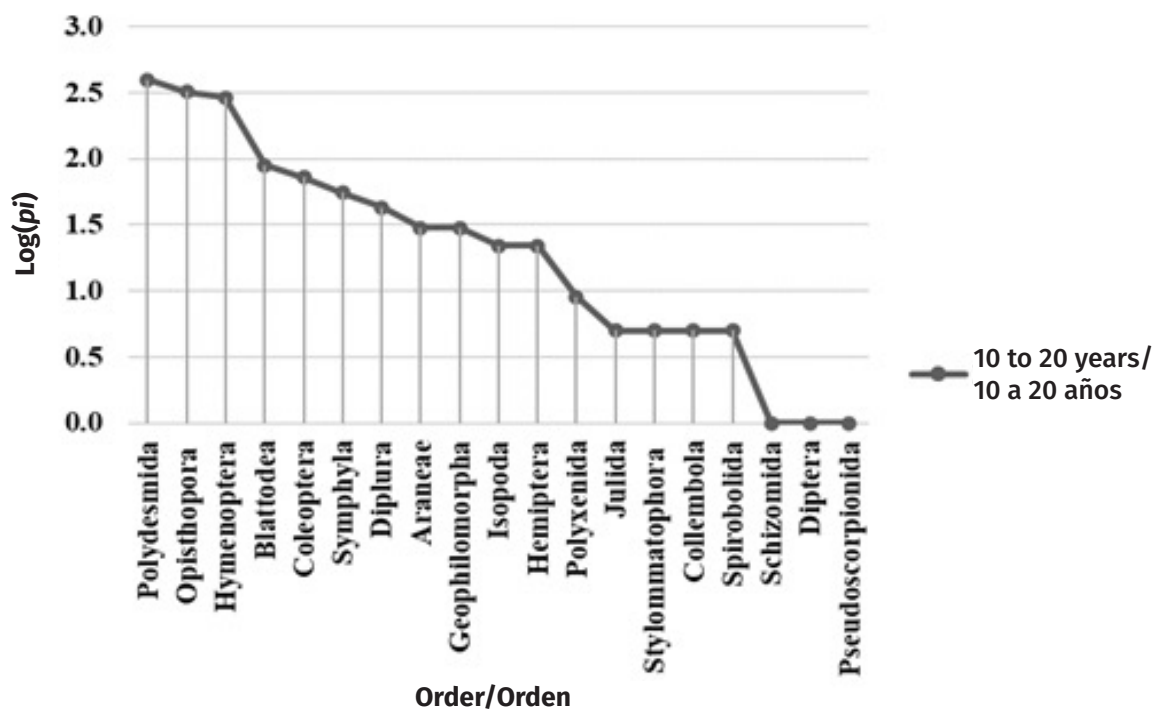


Figure 4. Abundance range of soil macrofauna in SAF with 10 to 20 years of establishment.
Figura 4. Rango abundancia de la macrofauna edáfica en SAF con 10 a 20 años de establecimiento.

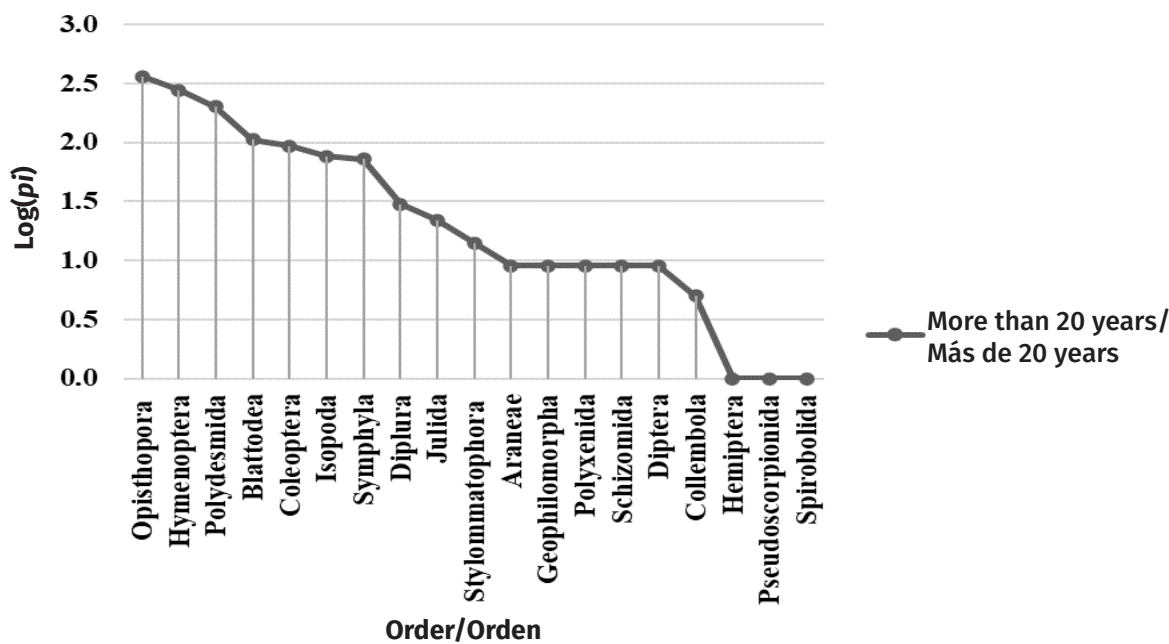


Figure 5. Abundance range of soil macrofauna in SAF with more than 20 years of establishment.
Figura 5. Rango de abundancia de la macrofauna edáfica en SAF con más de 20 años de establecimiento.

The trend of the curve shows greater dominance of the orders Diplura, Araneae, Geophilomorpha, and Isopoda compared to SAF with a shorter establishment time.

The behavior in SAF with a longer establishment time contrasts with the other SAF. Although the dominant taxa Opisthoptera, Polydesmida, Hymenoptera, and Blattodea remain consistent for all sampling sites, in these SAF, a less pronounced slope is observed between some taxa such as Araneae, Geophilomorpha, Polyxenida, Schizomida, and Diptera (Figure 5).

Total richness of orders (q_0) is similar for all collection sites, with values ranging from 16 to 17 taxa. This indicates that total diversity is comparable among agroforestry systems with cacao with 0 to 10 years, 10 to 20 years, and more than 20 years of establishment. Regarding the diversity of effective taxa (q_1), which includes all orders weighted by their abundance in the community, values range from 7 to 8 effective orders in all three groups, suggesting that the number of truly dominant orders is similar. However, it is slightly higher for systems with a longer establishment period (Figure 6).

Diversity of order q_2 shows that when greater weight is given to taxa with higher abundance in the diversity estimation, 5.3, 5.9, and 6 equally abundant orders are observed for systems with 0 to 10 years, 10 to 20 years, and more than 20 years of establishment, respectively. This implies a more equitable distribution of abundance among taxa in agroforestry systems with longer establishment times.

The composition of soil macrofauna in the evaluated SAF with was similar. The group of farms within the 10 to 20-year and more than 20-year establishment shared the highest level of similarity (93.7 %), followed by the group with the farms in the 0 to 10-year establishment, with which they shared a lower similarity (77.7 %) (Figure 7).

The density of functional groups varies according to the establishment years of the agroforestry system (Figure 8). Detritivores show a density of $165 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ in systems with 0 to 10 years establishment, decreasing to $133 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ in systems with 10 to 20 years establishment, and increasing to $151 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ in systems with more than 20 years establishment, with a total density of $450 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$, representing 27 % of the total individuals collected.

Predators show a density of $64 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ in systems with 0 to 10 years establishment, $49 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ in systems with 10 to 20 years establishment, and $58 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ in systems with more than 20 years, with a total of 171

forestal (SAF). Las fincas dentro del grupo de edad de cero a 10 años muestran una marcada dominancia de los taxones Opisthoptera, Polydesmida, Hymenoptera y Blattodea, en comparación con los taxones considerados raros como Pseudoescorpionida, Hemiptera y Spirobolida. La pendiente observada en las Figuras 3 y 4 demuestra que, en estos sitios de muestreo, la comunidad es dominada por pocos taxones, resultando en la existencia de muchos taxones raros.

Por otro lado, las fincas con SAF de 10 a 20 años de establecimiento presentan una dominancia similar de taxones, con el reemplazo de Polydesmida como el grupo con mayor dominancia en estos sitios de muestreo (Figura 4). La tendencia de la curva muestra una mayor dominancia de los órdenes Diplura, Araneae, Geophilomorpha e Isopoda en comparación con los SAF con menor tiempo de establecimiento.

El comportamiento en los SAF con mayor tiempo de establecimiento contrasta con los demás SAF. Aunque los taxones dominantes Opisthoptera, Polydesmida, Hymenoptera y Blattodea se mantienen para todos los sitios de muestreo, en estos SAF se evidencia una pendiente menos pronunciada entre algunos taxones como Araneae, Geophilomorpha, Polyxenida, Schizomida y Diptera (Figura 5).

La riqueza total de órdenes (q_0) es similar para todos los sitios de colecta, con valores alrededor de 16 a 17 taxones. Esto indica que la diversidad total es comparable entre los sistemas agroforestales con cacao de 0 a 10 años, 10 a 20 años y más de 20 años de establecimiento. En cuanto a la diversidad de taxones efectivos (q_1) que incluye a todos los órdenes según el peso en la comunidad según la proporción que guarda respecto a su abundancia, los valores oscilan entre 7 a 8 órdenes efectivos en los tres grupos, lo que sugiere que el número de órdenes verdaderamente dominantes es similar. Sin embargo, ligeramente superior para los sistemas con mayor tiempo de establecimiento (Figura 6).

La diversidad de orden q_2 demuestra que cuando se les da mayor peso a los taxones con mayor abundancia en la estimación de la diversidad se logran obtener 5.3, 5.9 y 6 órdenes igualmente abundantes para establecimientos con cero a 10 años, 10 a 20 años y más de 20 años respectivamente. Lo que implica una distribución de abundancia de los taxones más equitativa para los SAF con mayor tiempo de establecimiento.

La composición de la macrofauna edáfica en los SAF con cacao evaluados fue similar. El grupo de fincas conformado dentro del rango de edad de 10 a 20 y más de 20 años compartieron el nivel más alto de si-

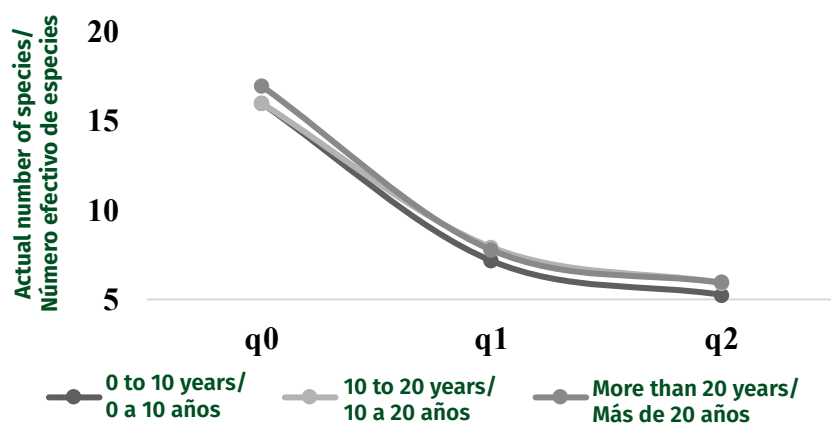


Figure 6. Diversity of soil macrofauna according to the establishment years group of SAF.

Figura 6. Diversidad de la macrofauna edáfica en función del grupo de edad de establecimiento del SAF.

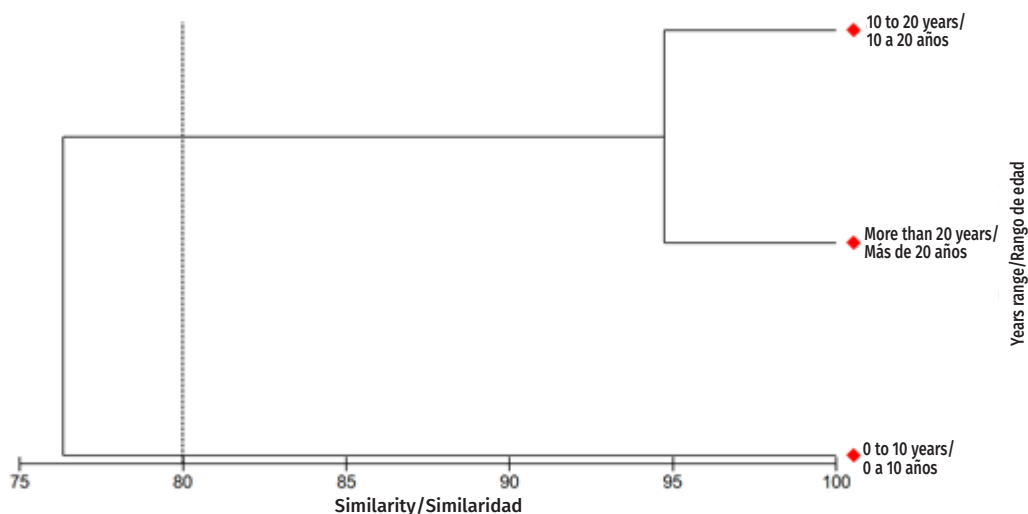


Figure 7. Similarity in the composition of soil macrofauna in cacao-producing farms belonging to different years groups.

Figura 7. Similitud en la composición de macrofauna edáfica en fincas productoras de cacao pertenecientes a distintos grupos de edades.

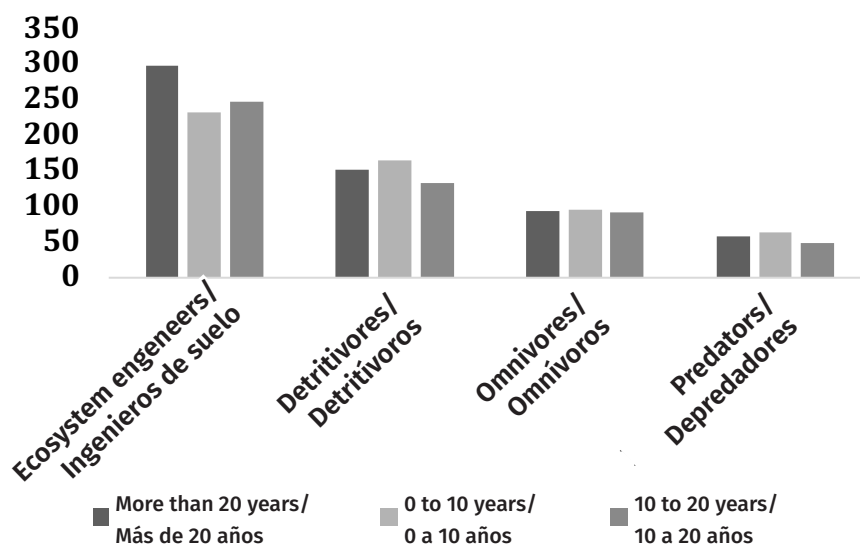


Figure 8. Density (ind·m⁻²) of functional groups of soil macrofauna according to the establishment year group of SAF.

Figura 8. Densidad (ind·m⁻²) de grupos funcionales de la macrofauna edáfica en función del grupo de edad de establecimiento del SAF.

Table 2. Density (ind·m⁻²) of functional groups of soil macrofauna based on the establishment years group of SAF.
Cuadro 2. Densidad (ind·m⁻²) de grupos funcionales de la macrofauna edáfica en función del grupo de edad de establecimiento del SAF.

Functional groups of soil macrofauna / Grupos funcionales de la macrofauna edáfica	Order/ Orden	0 to 10 years / 0 a 10 años	10 to 20 years / 10 a 20 años	More than 20 years / Más de 20 años	Total
Detritivores/ Detritívoros	Isopoda, Symphyla, Julida, Polydesmida, Polyxenida, Spirobolida, Diptera, Collembola, Stylommatophora	165	133	151	450
Predators/ Depredadores	Diplura, Hemiptera, Coleoptera, Araneae, Schizomida, Pseudoscorpionida, Geophilomorpha	64	49	58	171
Omnivores/ Omnívoros	Hymenoptera (Formicidae)	96	92	93	281
Ecosystem engineers / Ingenieros de suelo	Opisthopora, Formicidae, Termitidae, Opisthopora, Formicidae, Termitidae	232	247	297	776

ind·m⁻², indicating a progressive increase as the establishment time grows and representing 10 % of the total individuals collected.

Omnivores, exclusively represented in this study by the Formicidae family of the Hymenoptera order, maintain a relatively constant density: 96 ind·m⁻² in systems with 0 to 10 years, 92 ind·m⁻² in systems with 10 to 20 years, and 93 ind·m⁻² in systems with more than 20 years, with a total of 281 ind·m⁻², comprising 17 % of the total individuals collected.

Ecosystem engineers, composed of earthworms (Opisthopora), ants (Formicidae), and termites (Termitidae), show an increasing trend: 232 ind·m⁻² in systems with 0 to 10 years establishment, 247 ind·m⁻² in systems with 10 to 20 years establishment, and 297 ind·m⁻² in systems with more than 20 years establishment, with a total density of 776 ind·m⁻², following a progressive increase as the establishment time grows and representing 46 % of the total individuals collected (Table 2).

Discussion

This study identified 19 orders of soil macrofauna associated with agroforestry systems (SAF) with cacao, which exceeds the number reported by studies conducted in agroecosystems by Cabrera Dávila et al. (2018) and Royero (2019), who recorded 18 and 13 orders, respectively. The orders Opisthopora (Glossoscolecidae), Hymenoptera (Formicidae), Coleoptera,

millaridad (93.7 %) y luego agrupándose con las fincas que conforman el grupo de cero a 10 años con el que guardan una similaridad menor (77.7 %) (Figura 7).

La densidad de los grupos funcionales varía según la edad de establecimiento del SAF (Figura 8). Los detritívoros demuestran una densidad de 165 ind·m⁻² en sistemas de cero a 10 años, disminuyendo a 133 ind·m⁻² en sistemas de 10 a 20 años y aumentando a 151 ind·m⁻² en sistemas de más de 20 años, con una densidad total de 450 ind·m⁻², lo que representa un 27 % de los individuos totales colectados.

Los depredadores presentan una densidad de 64 ind·m⁻² en sistemas de cero a 10 años, 49 ind·m⁻² en sistemas de 10 a 20 años y 58 ind·m⁻² en sistemas de más de 20 años, con un total de 171 ind·m⁻², evidenciando un crecimiento progresivo conforme aumenta el tiempo de establecimiento y representando el 10 % del total de individuos colectados.

Los omnívoros, representados exclusivamente en este estudio por la familia Formicidae del orden Hymenoptera, mantienen una densidad relativamente constante: 96 ind·m⁻² en sistemas de cero a 10 años, 92 ind·m⁻² en sistemas de 10 a 20 años y 93 ind·m⁻² en sistemas de más de 20 años, con un total de 281 ind·m⁻², conformando el 17 % de los individuos colectados.

Los ingenieros de suelos, conformados por lombrices de tierra (Opisthopora), hormigas (Formicidae) y ter-

Blattodea (Termitidae), and Polydesmida (Polydesmidae) are the most representative taxa in terms of density ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$) during the collection periods. These compositional attributes are associated with their biological cycles, as most of these organisms have high reproduction rates. Additionally, there is greater species richness compared to the rest, particularly in the case of Termitidae and Hymenoptera. These groups are known for their high levels of social organization and cooperation, which may explain their dominance in the soil community (Pereira et al., 2017).

The structure of the communities studied for each farm reveals the orders with the highest abundances, exhibiting variations in the hierarchical distribution of the different taxa at each site. Additionally, the dominance of Hymenoptera (Formicidae), Opisthophora (Glossoscolecidae), Polydesmida (Polydesmidae), and Blattodea (Termitidae) can be reaffirmed. These results are likely due to specific soil conditions at each farm. Several authors have identified the orders Opisthophora (Glossoscolecidae) and Hymenoptera (Formicidae) as dominant in soil macrofauna for all agricultural production systems (Cabrera et al., 2011; Chávez et al., 2016). They are also considered ecosystem engineers because they influence the physical properties and transformations of organic matter in the soil by creating galleries and pores that improve aeration, drainage, and water retention. Furthermore, their activity generates biogenic structures that function as nutrient reservoirs, regulates access to resources for other organisms, and stimulates the activity of soil microflora through mutualistic interactions (Lavelle et al., 2016).

Because cacao provides various ecosystem services to the soil, such as improving its fertility, nutrient fixation, erosion control through its roots, pore creation, bioturbation, and regulation of the hydrological cycle, it promotes soil biodiversity by creating a favorable habitat for the soil community, including soil macrofauna. This macrofauna plays an essential functional role as leaf litter processors and soil structuring agents (François et al., 2023).

The high similarity in the composition of soil macrofauna between cacao agroforestry systems from different groups of establishment years may be attributed to common ecological factors, such as soil type, surrounding vegetation, and management practices. Another factor that may be influencing this is the establishment or maturity time of the systems, which provides habitat stability that is reflected in the results, where farms with longer establishment times show greater similarity in the composition of soil macrofauna. Additionally, the ecological connections between these agroecosystems

mitas (Termitidae), muestran una tendencia creciente: 232 $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ en sistemas de cero a 10 años, 247 $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ en sistemas de 10 a 20 años y 297 $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ en sistemas de más de 20 años, con una densidad total de 776 $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$, siguiendo un crecimiento progresivo conforme aumenta el tiempo de establecimiento y representando el 46 % de los individuos colectados (Cuadro 2).

Discusión

En este estudio se identificaron 19 órdenes de la macrofauna edáfica asociada a sistemas agroforestales (SAF) con T, cacao lo que supera en número a los reportados por investigaciones realizadas en agroecosistemas por (Cabrera Dávila et al., 2018; Royero, 2019) que registran 18 y 13 órdenes respectivamente. El orden Opisthophora (Glossoscolecidae), Hymenoptera (Formicidae), Coleoptera, Blattodea (Termitidae) y Polydesmida (Polydesmidae). Son los taxones más representativos en términos de densidad ($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$) en los periodos de colecta. Estos atributos de la composición se asocian con los ciclos biológicos de los mismos, debido a que se trata en su mayoría de organismos con altas tasas de reproducción. Además, una mayor riqueza de especies en comparación con el resto, en el caso de Termitidae e Hymenoptera. Estos grupos son conocidos por sus altos niveles de organización social y cooperación, lo que puede explicar su dominancia en la comunidad del suelo (Pereira et al., 2017).

La estructura de las comunidades estudiadas para cada una de las fincas evidencia los órdenes con mayores abundancias. Exhibiendo variaciones en cuanto a la distribución jerárquica que tienen los diferentes taxones en cada sitio. También, se puede reafirmar la dominancia de Hymenoptera (Formicidae), Opisthophora (Glossoscolecidae), Polydesmida (Polydesmidae) y Blattodea (Termitidae). Estos resultados probablemente se deben a condiciones específicas de suelo en cada una de las fincas. Varios autores han identificado que los órdenes Opisthophora (Glossoscolecidae) e Hymenoptera (Formicidae) como predominantes de la macrofauna edáfica en todos los sistemas de producción agrícola (Cabrera et al., 2011; Chávez et al., 2016). Igualmente, son considerados ingenieros del ecosistema, debido a que influyen en las propiedades físicas y transformaciones de la materia orgánica del suelo al crear galerías y poros que mejoran la aireación, el drenaje y la retención de agua. Como también, su actividad genera estructuras biogénicas que funcionan como reservorios de nutrientes, regulan el acceso a recursos para otros organismos y estimulan la actividad de la microflora del suelo a través de interacciones mutualistas (Lavelle et al., 2016).

Debido a que el cultivo de cacao proporciona numerosos servicios ecosistémicos al suelo, como la mejora

and nearby rural areas contribute to this similarity (Dilas & Mugruza, 2020; Somarriba et al., 2013).

The functional component of the soil macrofauna was represented by four trophic functional groups: Detritivores ($450 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$), Ecosystem Engineers ($776 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$), Omnivores ($281 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$), and Predators ($171 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$). This agrees with the findings reported and described by Rodríguez et al. (2019), showing that the establishment of agroforestry systems provides various ecosystem services by incorporating organic material from leaf litter, which benefits the establishment of key functional groups, such as detritivores, for soil health and development (Bautista et al., 2018).

Another important functional group found was the ecosystem engineers, composed of ants (Hymenoptera: Formicidae), earthworms (Opisthopora), and termites (Blattodea: Termitidae) (Decaëns et al., 2003). These organisms play a role as soil structuring agents, removing material and forming galleries that allow air and water to penetrate deeper into the soil (Morerira, 2012).

Although they are not dominant in terms of abundance, predators form a trophic guild with a high diversity of orders. These include beetles (Coleoptera: Staphylinidae, Scarabaeidae, and Carabidae), millipedes (Geophilomorpha), diplurans (Diplura), spiders (Araneae), schizomids (Schizomida), and pseudoscorpions (Pseudoscorpionida). Their role is linked to regulating the populations of other organisms. This is particularly important for this study as it highlights the presence of complex functional guilds that contribute to maintaining ecological balance (Zerbino et al., 2008).

Conclusion

Soil macroinvertebrate communities in cacao agroforestry systems in the department of Córdoba were represented by three phyla, 10 classes, and 19 orders. Diversity patterns suggest that older cacao agroforestry systems are associated with superior organic material structures, improving soil ecosystem conditions. The identification of 19 orders of soil macrofauna demonstrates that the cacao production system allows for soil regeneration and the creation of suitable habitats for a well-structured soil community. This community is associated with key functional groups that improve soil fertility and its physical structure, such as detritivores and ecosystem engineers.

Acknowledgements

The authors thank the Colombian Agricultural Research Corporation (AGROSAVIA), which, within the framework

de su fertilidad, fijación de nutrientes, control de la erosión mediante sus raíces, creación de poros, bioturbación y regulación del ciclo hidrológico, fomenta la biodiversidad del suelo al crear un hábitat favorable para la comunidad edáfica, incluyendo a la macrofauna del suelo, que cumple un rol funcional esencial como trituradores de hojarasca y estructuradores del perfil del suelo (François et al., 2023).

La gran similitud en la composición de la macrofauna edáfica entre los sistemas agroforestales con cacao de diferentes grupos de edad puede deberse a factores ecológicos comunes, como el tipo de suelo, la vegetación circundante y las prácticas de manejo. Otro factor que puede estar influenciando es el tiempo de establecimiento o madurez de los sistemas que proporciona una estabilidad de hábitat que se refleja en los resultados obtenidos, donde las fincas con mayor tiempo de establecimiento presentan una mayor similitud en la composición de la macrofauna del suelo. Además, las conexiones ecológicas entre estos agroecosistemas y las zonas rurales cercanas contribuyen a esta similitud (Dilas & Mugruza, 2020; Somarriba et al., 2013).

El componente funcional de la macrofauna edáfica estuvo representado por cuatro grupos funcionales tróficos: Detritívoros ($450 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$), Ingenieros de suelo ($776 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$), Omnívoros ($281 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$) y Depredadores ($171 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$) coincidiendo con lo reportado y descrito por Rodríguez et al. (2019), demuestra que el establecimiento de sistemas agroforestales proporciona diversos servicios ecosistémicos al incorporar material orgánico proveniente de la caída de hojarasca, lo que beneficia el establecimiento de grupos funcionales clave, como los detritívoros, para la salud y el desarrollo del suelo (Bautista et al., 2018).

Otro grupo funcional importante hallado fueron los ingenieros del ecosistema de suelo, conformado por hormigas (Hymenoptera: Formicidae), Lombrices de tierra (Opisthopora) y Termitas (Blattodea: Termitidae) (Decaëns et al., 2003). Los cuales cumplen un rol de estructuradores del suelo, removiendo y formando galerías que permiten el ingreso de aire y agua hacia profundidades mayores (Morerira, 2012).

A pesar de no dominar en abundancia, los depredadores son un gremio trófico con alta riqueza de órdenes. Entre ellos se encontraron escarabajos (Coleoptera: Staphylinidae, Scarabaeidae y Carabidae), milpiés (Geophilomorpha), doble colas (Diplura), arañas (Araneae), esquizómidos (Schizomida) y falsos escorpiones (Pseudoscorpionida). Su

of the project “Implementation of production technologies to enhance the cocoa value chain and the environmental sustainability of the production system in the department of Córdoba,” provided the necessary resources to carry out this study.

End of English versión

References / Referencias

- AGRONET. (2023.). Agronet - Estadísticas. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=4>
- Alcaldía de Tierralta. (2020). Plan de desarrollo municipal Tierralta 2020-2023. [https://www.scribd.com/document/533220171/Plan-de-Desarrollo-Municipal-\(Tierralta\)-2020-2023](https://www.scribd.com/document/533220171/Plan-de-Desarrollo-Municipal-(Tierralta)-2020-2023)
- Anchundia, D. M., Herrada, M. R., & Montalvan, E. L. S. (2018). Sistemas agroforestales con cultivo de cacao fino de aroma: entorno socio-económico y productivo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 6(1).
- Anderson, J. M., & Ingram, J. S. I. (1993). *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. CAB International eBooks.
- Andrade, V. H. G. Z. de, Redmile-Gordon, M., Barbosa, B. H. G., Andreote, F. D., Roesch, L. F. W., & Pylro, V. S. (2021). Artificially intelligent soil quality and health indices for ‘next generation’ food production systems. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 107). [://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.018](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.018)
- Arias Castro, Á. F. (2021). Evaluación de la macrofauna del suelo en cacao en las zonas de Santo Domingo y Esmeraldas. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/25978>
- Ballesteros-Correa, J., Morelo-García, L., & Pérez-Torres, J. (2019). Composición y estructura vegetal de fragmentos de bosque seco tropical en paisajes de ganadería extensiva bajo manejo silvopastoril y convencional en Córdoba, Colombia. *Caldasia*, 41(1). <https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.71320>
- Bautista, E. H. D., Suárez, L. R., & Salazar, J. C. S. (2018). Relationship between macroinvertebrates and soil properties under different agroforestry arrangements in the Colombia Andean Amazon. *Acta Agronómica*, 67(3), 395–401. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n3.67266>
- Cabrera Dávila, G. de la C., & López Iborra, G. M. (2018). Caracterización ecológica de la macrofauna edáfica en dos sitios de bosque siempreverde en El Salón, Sierra del Rosario, Cuba. *Bosque (Valdivia)*, 39(3). <https://doi.org/10.4067/s0717-92002018000300363>
- Cabrera, G., Robaina, N., & Ponce, D. (2011). Composición funcional de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 34(3).
- Cabrera, G., Robaina, N., & de León, D. P. (2011). Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. *Richness and Abundance of Soil Macrofauna in Four Land Uses of the Artemisa and Mayabeque Provinces, Cuba.*, 34(3).
- Chao, A., Gotelli, N. J., Hsieh, T. C., Sander, E. L., Ma, K. H., Colwell, R. K., & Ellison, A. M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84(1). <https://doi.org/10.1890/13-0133.1>
- Chao, A., & Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: Standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12). <https://doi.org/10.1890/11-1952.1>
- Chávez, L., Labrada-Hernández, Y., & Álvarez-Fonseca, A. (2016). Macrofauna del suelo en ecosistemas ganaderos de montaña en Guisa, Granma, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 39(3).
- Contreras-Santos, J., Martínez-Atencia, J., Luis Rodríguez-Vitola, J., Barragán-Hernández, W., Garrido-Pineda, J., & Katherine Falla-Guzman, C. (2023). Índice de Calidad del Suelo Bajo Sistemas Agropecuarios en el Bosque Seco Tropical-Colombia Soil Quality Index for Agricultural Systems in the Tropical Dry Forest-Colombia. <https://doi.org/10.28940/terra>
- Córdova, F., & Zambrano, L. (2015). La diversidad funcional en la ecología de comunidades | Córdoba-Tapia | *Revista Ecosistemas*. *Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 24(3).
- rol se asocia con el control de las poblaciones de otros organismos. Esto es sumamente importante para este estudio, ya que demuestra la existencia de gremios funcionales complejos que mejoran el equilibrio ecológico (Zerbino et al., 2008).

Conclusión

Las comunidades de macroinvertebrados edáficos en suelos de sistemas agroforestales con cacao en el departamento de Córdoba estuvieron representadas por tres phyla, 10 clases y 19 órdenes. Los patrones de diversidad sugieren que los sistemas agroforestales con cacao de mayor edad se asocian con superiores estructuras de material orgánico, mejorando las condiciones del ecosistema del suelo. La identificación de 19 órdenes de la macrofauna edáfica demuestra que el sistema productivo de cacao permite la regeneración del suelo y la creación de hábitats adecuados para una comunidad edáfica bien estructurada. Esta comunidad se asocia con grupos funcionales clave para el mejoramiento de la fertilidad del suelo y su estructuración física, como los detritívoros e ingenieros del suelo.

Agradecimiento

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, que en el marco del proyecto “Implementación de tecnologías de producción para el fortalecimiento de la cadena de valor de cacao y la sostenibilidad ambiental del sistema productivo en el departamento de Córdoba”, aportó los recursos necesarios para llevar a cabo este estudio.

- Decaëns, T., Galvis, J. H., & Amézquita, E. (2003). Propiedades de las Estructuras Construidas por los Ingenieros del Ecosistema en la Superficie del Suelo de una Sabana Colombiana1 Materiales y Métodos. *El Arado Natural: Las Comunidades de Macroinvertebrados Del Suelo En Las Sabanas Neotropicales de Colombia*, 171–197. https://books.google.com/books/about/El_arado_natural_Las_comunidades_de_macr.html?hl=es&id=y5Pb2xaYtVoC
- Dilas, J. O., & Mugruza-Vassallo, C. A. (2020). Instalación de fincas cafetaleras en sistema agroforestal para recuperación y sostenibilidad de suelos degradados de selva alta. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 4(1). <https://doi.org/10.25127/aps.20201.534>
- Di Rienzo, J., Balzarini, M., Gonzalez, L., Casanoves, F., Tablada, M., & Walter Robledo, C. (2010). Infostat: software para análisis estadístico.
- François, M., Pontes, M. C. G., da Silva, A. L., & Mariano-Neto, E. (2023). Impacts of cacao agroforestry systems on climate change, soil conservation, and water resources: a review. *Water Policy*, 25(6). <https://doi.org/10.2166/wp.2023.164>
- IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2024). Consultado 6 de marzo de 2024. <https://www.ideam.gov.co/>
- ITIS. (2024). Integrated Taxonomic Information System. ITIS. <https://www.itis.gov/>
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. In *Oikos* (Vol. 113, Issue 2). <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Koutika, L. S., Nolte, C., Yemefack, M., Ndango, R., Folefoc, D., & Weise, S. (2005). Leguminous fallows improve soil quality in south-central Cameroon as evidenced by the particulate organic matter status. *Geoderma*, 125(3–4). <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.09.009>
- Lavelle, P. (1997). Faunal Activities and Soil Processes: Adaptive Strategies That Determine Ecosystem Function. *Advances in Ecological Research*, 27(C). [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60007-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60007-0)
- Lavelle, P., Mathieu, J., Spain, A., Brown, G., Fragoso, C., Lapied, E., De Aquino, A., Barois, I., Barrios, E., Barros, M. E., Bedano, J. C., Blanchart, E., Caulfield, M., Chagueza, Y., Dai, J., Decaëns, T., Dominguez, A., Dominguez, Y., Feijoo, A., ... Zhang, C. (2022). Soil macroinvertebrate communities: A world-wide assessment. *Global Ecology and Biogeography*, 31(7). <https://doi.org/10.1111/geb.13492>
- Lavelle, P., Spain, A., Blouin, M., Brown, G., Decaëns, T., Grimaldi, M., Jiménez, J. J., McKey, D., Mathieu, J., Velasquez, E., & Zangerlé, A. (2016). Ecosystem Engineers in a Self-organized Soil. *Soil Science*, 181(3/4). <https://doi.org/10.1097/ss.0000000000000155>
- López, A. J. (2006). Manual de edafología. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química. Agrícola de la Universidad de Sevilla.
- Martínez, E. A., Torreglosa, A. C., Crissien, T. J., Marrugo, J. L., & González, L.C. (2019). Evaluation of contaminants in agricultural soils in an Irrigation District in Colombia. *Heliyon*, 5(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02217>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2022). Evaluaciones Agropecuarias Municipales: Ficha metodológica. [Página web]. www.minagricultura.gov.co
- Morerira, F. (2012). Manual de biología de suelos tropicales. In Books. Google.Com.
- Pereira, J. de M., Segat, J. C., Baretta, D., Vasconcellos, R. L. de F., Baretta, C. R. D. M., & Cardoso, E. J. B. N. (2017). Soil macrofauna as a soil quality indicator in native and replanted *Araucaria angustifolia* forests. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 41. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160261>
- Ramírez, W. (2000). Manejo de sistemas agroforestales. In *Proyecto Forestal* (Vol. 2).
- Rodríguez, N. R., Márquez, S. M., & Restrepo, L. F. (2019). The edaphic macrofauna in three components of the coffee plant arrangement associated with different management typologies, Antioquia, Colombia. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 51(2).
- Rousseau, G., Dos Santos Silva, P. R., & Reis de Carvalho, C. J. (2010). Earthworms, ants and other arthropods as soil health indicators in traditional and no-fire agro-ecosystems from Eastern Brazilian Amazonia. *ACTA ZOOLOGICA MEXICANA* (N.S.), 26. <https://doi.org/10.21829/azm.2010.262882>
- Royero, S. Y. (2019). Macrofauna edáfica y características físicas y químicas del suelo en áreas con diferentes sistemas de manejo en el departamento del Atlántico, Colombia. In *Universidad Nacional de Colombia*.
- Salas, J. L. (1982). Sistemas agroforestales. *Revista de Ciencias Ambientales*, 3(1), 55–63. https://doi.org/10.15359/RCA.3_4-1.6
- Saviozzi, A., Levi-Minzi, R., Cardelli, R., & Riffaldi, R. (2001). A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils. *Plant and Soil*, 233(2). <https://doi.org/10.1023/A:1010526209076>
- Schoonover, J. E., & Crim, J. F. (2015). An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed Management. *Journal of Contemporary Water Research and Education*, 154(1). <https://doi.org/10.1111/j.1936-704x.2015.03186.x>
- SEA. (2017). Sociedad Entomológica Aragonesa. <http://www.sea-entomologia.org>
- Somarriva, E., & Lachenaud, P. (2013). Successional cocoa agroforests of the Amazon-Orinoco-Guiana shield. *Forests Trees and Livelihoods*, 22(1). <https://doi.org/10.1080/14728028.2013.770316>
- Suárez, J. C., Duran Bautista, E. H., & Patiño, G. R. (2015). Macrofauna edáfica asociada con sistemas agroforestales en la Amazonía Colombiana. *Acta Agronómica*, 64(3). <https://doi.org/10.15446/acag.v64n3.38033>
- Triplehorn, C. A., Johnson, N. F., & Borror, D. J. (2005). Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects. Cengage Learning.
- Viloria, J. (2007). La economía del departamento de Córdoba: ganadería y minería como sectores clave. *Las Economías Departamentales Del Caribe Continental Colombiano. Capítulo 4. La Economía Del Departamento de Córdoba: Ganadería y Minería Como Sectores Clave*. Pág.:278-369.
- Zerbino, S., Altier, N., Morón, A., & Rodríguez, C. (2008). Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. *Agrociencia*, 12(1). <https://doi.org/10.31285/agro.12.744>



EN

Use of edible mushrooms as a sustainable alternative for the control of gastrointestinal nematodes in sheep

ES

Uso de hongos comestibles como alternativa sustentable en el control de nematodos gastrointestinales en ovinos

Tomás Escobar-Espinosa¹; Virginia Guadalupe García-Rubio²; Pedro Abel Hernández García²; Juan José Ojeda-Carrasco^{2*}

¹Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM, Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales Amecameca, km 2.5 carretera Amecameca-Ayapango, Amecameca, Estado de México, C. P. 56900, México.

²Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM Estudios Multidisciplinarios sobre Desarrollo Endógeno para la sustentabilidad territorial Amecameca, km 2.5 Carretera Amecameca-Ayapango, Amecameca, Estado de México, C. P. 56900, México.

Abstract

***Corresponding author:**

jjjedac@uaemex.mx

ORCID ID: 0000-0002-4262-9224

Received: Novembre 29, 2024

Accepted: April 21, 2025

Published online: June 11, 2025

The high prevalence of parasitic infections caused by gastrointestinal nematodes (GIN) negatively impacts production parameters, the availability of animal protein, and the global sheep farming economy. The growing resistance of parasites to commercial anthelmintics tends to worsen this problem. Consequently, cost-effective and sustainable control strategies are needed that can target the various developmental stages of these parasites. The objective of this study was to evaluate the ovicidal and larvicidal effects of mushrooms and spent substrate from two strains of *Pleurotus ostreatus* against GIN in sheep. To obtain GIN eggs and larvae, fecal samples were collected from 20 animals in a previously diagnosed flock from the municipality of Ayapango, Estado de México. The *in vitro* effect of four concentrations of mushrooms and spent substrate (1.2 %, 2.25 %, 4.50 %, and 9 %) was evaluated in triplicate. Distilled water was used as a negative control and 1 % ivermectin as a positive control. Exposure times were 72 hours for eggs and 24 and 48 hours for larvae. Statistical analysis was performed using ANOVA. The highest average mortality rate in egg hatch inhibition was observed at the 9 % concentration, with 78.3 % for mushrooms and 69.3 % for the spent substrate. For larvae, the same 9 % concentration after 48 hours resulted in average mortalities of 65.6 % and 65.2 %, respectively. The use of *P. ostreatus* and its spent substrates represent a viable option for reducing reliance on commercial anthelmintics, minimizing environmental damage, and promoting sustainable sheep farming.

Keywords: Parasitosis, *Pleurotus ostreatus*, spent substrate (Thesaurus); and anthelmintic resistance.

Resumen

La alta prevalencia de parasitosis asociadas a nematodos gastrointestinales (NGI), afecta los parámetros productivos, disponibilidad de proteína animal y economía del sector ovino mundial. La creciente resistencia de los parásitos a los antihelmínticos comerciales, tiende a agudizar esta problemática. Ante esto, son necesarias estrategias de control rentables y sustentables, capaces de actuar sobre las diferentes fases de desarrollo de los parásitos. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto ovicida y larvicida de hongos y sustrato agotado de dos cepas de *Pleurotus ostreatus* contra NGI de ovinos. Para la obtención de huevos y larvas de NGI, fueron colectadas heces de 20 animales de un rebaño previamente diagnosticado del municipio de Ayapango, Estado de México. Se evaluó el efecto *in vitro* de cuatro concentraciones del hongo y el sustrato

agotado (12, 2.25, 4.50 y 9 %) por triplicado; como controles: negativo, agua destilada y positivo, ivermectina al 1 %; a tiempos de exposición de 72 h para los huevos; 24 y 48 h para las larvas. El análisis estadístico fue mediante ANOVA. La máxima mortalidad promedio en la inhibición de eclosión de huevos, se observó en la concentración de 9 %, con 78.3 % para los hongos y 69.3 %, para el sustrato agotado. Para las larvas, misma concentración (9 %) a 48 h con promedios de 65.6 y 65.2 %, respectivamente. El uso de *P. ostreatus* y sus sustratos agotados, representan una opción viable para reducir el uso de antihelmínticos comerciales, daños al ambiente e impulsar la ovinocultura sustentable.

Palabras clave: Parasitosis, *Pleurotus ostreatus*, sustrato agotado (Tesauros); y resistencia antihelmíntica.

Introduction

In some rural areas of Mexico, sheep farming is becoming a key sector in addressing issues related to poverty (Chávez-Espinoza et al., 2022). Despite this, it faces serious challenges in increasing its growth rate, with significant implications for social, economic, and environmental sustainability (López-Rojas et al., 2024). This situation is partly explained by the widespread use of extensive systems, which depend on natural vegetation and local agricultural by-products (Vázquez-Martínez et al., 2018). However, the biggest impacts are caused by the high incidence of gastrointestinal nematodes (GIN), which affect sheep at various stages of production, leading to impaired development, reduced weight gain, and poor animal health (Arsenopoulos et al., 2021). Although commercial anthelmintics remain the most common method of control, their indiscriminate and improper use has led to increased parasite resistance. In addition, the high prevalence and adaptability of these parasites raise concerns about the continued reliance on chemical control under such conditions (Claerebout et al., 2020). While strategies implemented in recent decades—such as pasture management, dietary modifications, and selective deworming—have contributed to parasite control, they remain insufficient to achieve the desired outcomes (Reyes-Guerrero et al., 2021).

Recently, alternative intervention capable of targeting different stages of the parasites' biological cycle have been explored, including the use of secondary metabolites derived from plants and mushrooms (Rivero-Perez et al., 2019). Studies conducted with extracts from both wild and cultivated mushrooms have demonstrated their anthelmintic efficacy. Among these, *Pleurotus ostreatus* has been reported for its nutraceutical properties, particularly its ability to produce secondary metabolites with anthelmintic activity—highlighting its potential as a sustainable alternative for parasite control (Páez-León et al., 2022; Valdez-Uriostegui et al., 2021).

In addition to promoting the sustainable use of available natural resources, the aim is to implement

Introducción

En algunas zonas rurales de México, la ovinocultura se está convirtiendo en un sector clave para enfrentar los problemas asociados a la pobreza (Chávez-Espinoza et al., 2022). A pesar de ello, enfrenta serios problemas para incrementar su tasa de crecimiento con las consecuentes repercusiones para la sostenibilidad social, económica y ambiental (López-Rojas et al., 2024). En parte, esto se debe a que el sistema de producción más utilizado es el de tipo extensivo, el cual está basado en la utilización de la vegetación nativa y los subproductos agrícolas disponibles en cada región (Vázquez-Martínez et al., 2018). Sin embargo, las mayores afectaciones son causadas por la alta incidencia de nematodos gastrointestinales (NGI), que afecta a los ovinos en las diferentes etapas productivas, provocando afectaciones en el desarrollo, ganancia de peso y estado de salud de los animales (Arsenopoulos et al., 2021). Aunque el tratamiento con antihelmínticos comerciales es el método de control más común, su uso indiscriminado e inadecuado, ha trascendido al incrementar la resistencia de los parásitos, aunado a ello, la alta prevalencia y gran adaptabilidad de estos, cuestionan el uso del control químico bajo estas circunstancias (Claerebout et al., 2020). Aunque existen estrategias empleadas en las últimas décadas como el manejo del pastoreo, modificaciones en la alimentación y desparasitación selectiva, entre otros; han contribuido con el control de las parasitosis, estas estrategias resultan aún insuficientes para alcanzar los resultados esperados (Reyes-Guerrero et al., 2021).

Recientemente, están en estudio otras alternativas de intervención, capaces de actuar sobre diferentes fases del ciclo biológico de los parásitos, en las que se incluyen el uso de los metabolitos secundarios de plantas y hongos (Rivero-Perez et al., 2019). Investigaciones realizadas con extractos de hongos silvestres y cultivados, han mostrado su eficacia antihelmíntica; se ha reportado el empleo de *Pleurotus ostreatus*, cuyas propiedades nutraceuticas asociadas a la producción de metabolitos secundarios con actividad antihelmíntica, destacan su potencial como alterna-

integrated management and biological control of parasitic infections, thereby significantly reducing the use of conventional anthelmintics (Ortiz et al., 2022). The objective of the present study was to evaluate the *in vitro* ovicidal and larvicidal effects of mushrooms and their spent substrate from two strains of *P. ostreatus* (Jacq. ex Fr.) Kumm (Basidiomycota, Agaricales) against gastrointestinal nematodes in sheep.

Methodological Approach

Study area

The study was carried out in the municipality of Ayapango, located in Region I “Amecameca,” in the southeastern part of Estado de México, between 19° 06' and 19° 10' N and 98° 46' and 98° 51' W, at an elevation of 2 450 MASL. The predominant climate is temperate subhumid with summer rainfall, with an average annual temperature of 14.7°C and average annual precipitation of 900 mm. Soils are mainly regosol (61.7 %) and arenosol (16.6 %). Of the 50.8 km² of land area, 84.1 % is used for agricultural and livestock activities, which is the municipality's primary economic activity. In the livestock sector, cattle, sheep, and pig farming are prominent, as well as poultry farming, particularly broiler chickens (COPLADEM, 2022).

Type of Research

This is a qualitative-quantitative, experimental, and cross-sectional study. The independent variables were the concentrations of *P. ostreatus* basidiomes and their spent substrate, established by percentage duplication (1.12 %, 2.25 %, 4.5 %, and 9 %); exposure times were 72 hours for the eggs and 24 and 48 hours for the larvae. Distilled water was used as the negative control, and a commercial anthelmintic (Ivermectin, 5µg·50µl⁻¹) was used as the positive control. The dependent variables were egg hatch inhibition and larval mortality of GIN in sheep, in bioassays performed *in vitro*.

Qualitatively, egg hatch inhibition (EHI) was determined by counting eggs that did not develop into larvae, or that developed larvae but did not hatch. For the effect on larvae, live larvae were those showing movement, including those that were curled but moved when stimulated. Dead larvae were those that remained extended or showed no movement even when stimulated.

Methodological Process

a) Collection and Processing of Mushrooms and Spent Substrate

Samples of 500 g of basidiomes and spent substrate (organic material that has lost its original nutrients

tiva sustentable para el control (Páez-León et al., 2022; Valdez-Uriostegui et al., 2021).

Además de impulsar el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales disponibles, se busca lograr el manejo integral y el control biológico de la parasitosis, reduciendo de forma significativa la aplicación de los antihelmínticos convencionales (Ortiz et al., 2022). El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto ovicida y larvicida *in vitro* de hongos y su sustrato agotado de dos cepas de *P. ostreatus* (Jacq. Ex Fr.) Kumm (Basidiomycota, Agaricales), contra nematodos gastrointestinales de ovinos.

Enfoque Metodológico

Área de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Ayapango, ubicado en la Región I “Amecameca”, al suroriente del Estado de México, entre los paralelos 19° 06' y 19° 10' de latitud norte y los meridianos 98° 46' y 98° 51' de longitud oeste, a 2450 msnm. El clima predominante es templado subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 14.7 °C y una precipitación media anual de 900 mm. Predominan los suelos tipo regosol (61.7 %) y arenosol (16.6 %). De la superficie territorial de 50.8 km² con que cuenta, el 84.1 % se destina para actividades agropecuarias, siendo la principal actividad económica del municipio. En el sector pecuario destaca la crianza de ganado bovino, ovino y porcino, así como de aves de corral, principalmente de pollo de engorda (COPLADEM, 2022).

Tipo de Investigación

Es un estudio cuali-cuantitativo, experimental y transversal. Las variables independientes fueron las concentraciones establecidas por duplicación porcentual (1.12, 2.25, 4.5 y 9 %) de basidiomas de *P. ostreatus* y su sustrato agotado; los tiempos de confrontación fueron 72 h para los huevos; 24 y 48 h para las larvas. Como control negativo, se empleó agua destilada y como positivo un antihelmíntico comercial (Ivermectina, 5µg·50µl⁻¹). Las variables dependientes fueron la no eclosión de huevos y la mortalidad de larvas de NGI de ovinos, en bioensayos realizados *in vitro*. Cualitativamente, la inhibición de eclosión de huevos (IEH), se consideró por el conteo de huevos en los que no se desarrolló una larva o bien que larvaron pero no eclosionaron. Para el caso del efecto sobre las larvas, se determinaron como larvas vivas aquellas que mostraban movimiento, también las que al estar enroscadas y al estimularlas se movían; por su parte, las muertas, correspondieron a aquellas elongadas, o sin movimiento aun cuando fueran estimuladas.

but still contains residual mycelium and basidiomes after mushroom cultivation) of *P. ostreatus* were collected from two producers in the municipalities of Tenango del Aire and Amecameca, in Estado de México. These samples were identified and transported to the laboratory, where they were placed on trays lined with absorbent paper, kept away from direct sunlight, and left at room temperature for dehydration. The absorbent paper was changed periodically until complete desiccation was achieved. Once dehydrated, 50 g of each sample were weighed using an analytical balance (Model VE-2610, VELAB brand), cut into smaller pieces with scissors, and then ground using an electric grinder (Hamilton Beach 80350R) to a particle size < 2 mm. Each sample was labeled and stored at room temperature in sterile 50 mL plastic conical tubes, sealed with Parafilm (PM992) to prevent rehydration, and wrapped in aluminum foil to block light exposure.

b) *In Vitro* Simulation of Rumen Digestion and Preparation of Treatments with Basidiomes and Spent Substrate

Maize silage (*Zea mays* L.) (Poaceae) was used as the base forage for *in vitro* digestion. It was dried in an oven (Binder Series 12-08177) at 70 °C for 72 hours and subsequently ground to a particle size of 1 mm. Using an analytical balance (Model GA200, OHAUS brand), the dried materials—basidiomes, spent substrate, and maize silage (MS)—were weighed according to the designated proportions to prepare a total mixture of 20 g per treatment.

The proportions of basidiomes (B) or spent substrate (SS) and maize silage for the four treatments were as follows: 9 % (B or SS = 1.8 g; MS = 18.2 g), 4.5 % (B or SS = 0.9 g; MS = 19.1 g), 2.25 % (B or SS = 0.45 g; MS = 19.55 g) and 1.12 % (B or SS = 0.22 g; MS = 19.78 g); respectively for the samples from the municipalities of Tenango del Aire and Amecameca.

To conduct an *in vitro* evaluation of the nematicidal effect of B and SS that closely resembles *in vivo* conditions, the treatments were prepared by simulating the conditions of the ruminal environment. Maize silage and rumen fluid saturated with CO₂ were used to ensure anaerobic fermentation, as occurs in the rumen.

Rumen inoculum was collected preprandially from donor sheep using an esophageal probe. The rumen content was filtered through four layers of cheesecloth to recover only the liquid portion, including dissolved and suspended components (Bayne & Edmondson, 2021). The rumen fluid was then maintained in a thermos at 39 °C during transport to the laboratory. A reduced mineral solution was added to the rumen fluid

Proceso metodológico

a) Obtención y procesamiento de hongos y sustrato agotado

Se obtuvieron muestras de 500 g de basidiomas y sustrato agotado (material orgánico que ha perdido sus nutrientes originales, pero que integra el micelio y basidiomas residuales después del cultivo de los hongos) de *P. ostreatus*, de dos productores de los municipios de Tenango del Aire y Amecameca, en el Estado de México; las cuales fueron identificadas y trasladadas al laboratorio donde se colocaron sobre charolas con papel absorbente, sin exposición directa al sol y a temperatura ambiente para su deshidratación, realizando cambios periódicos del papel absorbente hasta su desecado. Una vez deshidratados, fueron pesadas 50 g de cada muestra, con una balanza granataria (Modelo VE-2610, marca VELAB) y fraccionados con tijeras, para triturarlos posteriormente con un molino eléctrico (Hamilton Beach 80350R) a un tamaño de partícula < 2 mm. Cada muestra fue rotulada y almacenada a temperatura ambiente en tubos cónicos estériles de plástico de 50 mL, sellados con papel Parafilm (PM992) para evitar la rehidratación y forradas con papel aluminio, para impedir el contacto con la luz.

b) Simulación de la digestión en el ambiente ruminal *in vitro* y preparación de los tratamientos con los basidiomas y el sustrato agotado

Fue utilizado ensilado de maíz (*Zea mays* L.) (Poaceae), como forraje base para la digestión *in vitro*, el cual fue secado en una estufa (Blinder serie 12-08177) a 70 °C por 72 h; posteriormente molido a un tamaño de partícula de 1 mm. Con una balanza analítica (Modelo GA200, marca OHAUS), fue pesado el material deshidratado: basidiomas, sustrato agotado y ensilado de maíz (EM), de acuerdo con las proporciones correspondientes, para una mezcla total de 20 g por tratamiento. Las proporciones de basidioma (B) o sustrato agotado (SA) y ensilado de maíz, para los cuatro tratamientos fueron: 9 % (B o SA = 1.8 g; EM = 18.2 g), 4.5 % (B o SA = 0.9 g; EM = 19.1 g), 2.25 % (B o SA = 0.45 g; EM = 19.55 g) y 1.12 % (B o SA = 0.22 g; EM = 19.78 g); respectivamente para las muestras de los municipios de Tenango del Aire y Amecameca.

Con el propósito de realizar una evaluación *in vitro* del efecto nematicida de los B y SA más cercana a la que se presenta en condiciones *in vivo*, los tratamientos fueron elaborados simulando las condiciones del ambiente ruminal, empleando EM y líquido ruminal gasificado con CO₂, para garantizar la fermentación anaerobia como sucede en el rumen. La extracción

at a 1:9 ratio and saturated with CO₂ to maintain anaerobic conditions, following the method described by Theodorou et al. (1994). In 120 mL amber glass bottles, 20 g of each treatment were placed and mixed with 90 mL of the standardized rumen fluid, while maintaining a constant CO₂ flow. The bottles were sealed hermetically. Two bottles containing only standardized rumen fluid were included as blanks. Both the blanks and treatment bottles were monitored for gas pressure to confirm that the *in vitro* fermentation was taking place. Incubation was carried out at 39 °C in a water bath, and gas pressure was measured using a digital manometer (SSI Technologies, Inc. MG-15-A-9V-R). After 72 hours, the contents of the bottles were filtered to determine the *in vitro* dry matter disappearance. The collected liquid was stored at 4 °C it was used in the bioassays.

c) Obtaining Eggs

The study was conducted in accordance with animal use and care standards for research, as approved by the Bioethics Committee of the Centro Universitario UAEM Amecameca and following the Mexican Official Standard NOM-024-ZOO-1995 (DOF, 1995). A preliminary random sampling was carried out in a flock of 250 creole sheep owned by a collaborating farmer. Feces were collected directly from the rectum of the animals, and a coprological examination confirmed the presence of gastrointestinal nematode (GIN) eggs.

Subsequently, a non-probabilistic convenience sampling was performed to select 20 adult ewes, aged between 2 and 4 years, with an average body weight of 51.2 ± 6.52 kg. From each animal, 2 to 10 g of feces were collected using plastic palpation gloves, labeled, and kept refrigerated (4–5 °C) for immediate transport to the laboratory. Complementary procedures for the flotation and McMaster coprological techniques were followed for the identification of GIN-positive animals and quantification of eggs (Figueroa et al., 2015). The feces were manually homogenized by mashing them inside the glove, then 2 g from each sample were resuspended in 100 mL of a 40 % saturated NaCl solution. The mixture was filtered using cheesecloth to let it rest in plastic containers for 20 minutes. Finally, from the samples with the highest number of eggs per gram of feces (EPG), the supernatant was collected and centrifuged (Centrifugal Machine 800-1) at 1500 rpm for 5 minutes in Vacutainer tubes. The ring formed by the eggs was collected using a micropipette (Labnet BioPette Plus) and washed three times with distilled water to remove the sodium chloride. The eggs were then concentrated at the bottom of the tube and stored in 3 mL Eppendorf tubes with isotonic saline solution (0.9%) at 4 °C until use in the bioassay.

de inóculo ruminal fue realizada preprandial de ovinos donadores, con una sonda esofágica, filtrándolo con cuatro capas de tela gasa, para recuperar solo la porción líquida, así como los componentes presentes en solución y suspensión (Bayne & Edmondson, 2021); finalmente se conservó en un termo a 39 °C para su traslado al laboratorio. Al líquido ruminal se agregó una solución mineral reducida en una relación 1:9 y se gasificó con CO₂ para mantener las condiciones anaerobias, según la técnica descrita por Theodorou et al. (1994). En frascos ámbar de 120 mL, se colocaron 20 g de cada tratamiento y agregando 90 ml de líquido ruminal estandarizado con un flujo constante de CO₂, cerrándolos herméticamente. Fueron incluidos dos frascos como blancos (líquido ruminal estandarizado), tanto a los blancos como a los tratamientos se les midió la presión de gas para garantizar que se estuviera llevando la fermentación *in vitro*; la incubación fue a 39 °C en baño maría, y la medición del gas se hizo con un manómetro digital (SSI Technologies, Inc MG-15-A-9V-R). Transcurridas 72 h, el contenido de los frascos fue filtrado para determinar la desaparición *in vitro* de la materia seca, el líquido colectado se mantuvo en refrigeración a 4 °C hasta el empleo en los bioensayos.

c) Obtención de huevos

El estudio se llevó a cabo de acuerdo con los estándares de uso y cuidado de animales destinados a la investigación emitido por el Comité de Bioética del Centro Universitario UAEM Amecameca y atendiendo la Norma Oficial Mexicana NOM-024-ZOO-1995 (DOF, 1995). De forma preliminar, se realizó un muestreo al azar en un rebaño de 250 ovinos criollos de un productor cooperante, colectando las heces directamente del recto de los ovinos; a través de un examen coproparasitológico, se confirmó la existencia de huevos de NGL.

Posteriormente, a través de un muestreo no probabilístico por conveniencia, fueron seleccionados 20 borregas adultas de entre 2 y 4 años con un peso promedio de 51.2 ± 6.52 kg. De cada animal fueron colectados de 2 a 10 g de heces, empleando guantes de palpación de plástico, se identificaron y mantuvieron a temperatura de refrigeración (4-5 °C) para su traslado inmediato al laboratorio. Se siguieron por complementación los procedimientos para las técnicas coproparasitológicas de flotación y McMaster para identificación de los animales positivos a NGL así como para la cuantificación de huevos (Figueroa et al., 2015); las heces fueron homogenizadas manualmente macerando dentro del guante; para después, resuspender 2 gr de cada muestra con 100 mL de solución saturada de NaCl al 40 %; el homogenizado fue filtrado con gasas para dejarlo reposar en recipientes de plástico por 20 min. Finalmente, de las muestras con mayor número

d) Obtaining Larvae

Using the remaining feces collected, a coproculture was carried out following the procedure reported by Liébano et al. (2011). The feces were placed in a plastic tray and mixed with distilled water until a pasty consistency was achieved. Fragments of polyurethane foam (1.5x1.5x0.5 cm) were added, and the container was covered with aluminum foil, leaving a small ventilation opening. The mixture was incubated for 12 days at 27 °C in a bacteriological incubator (Blinder serie 12-08177). At the end of the incubation period, the Baermann technique was used to recover L3 larvae, 24 hours after the start of the procedure. The collected larvae were transferred to plastic Vacutainer tubes and centrifuged at 1500 rpm for 5 minutes. The larvae at the bottom of the tube were recovered using a micropipette (CE-50). To remove detritus, the larvae were resuspended in a 40 % NaCl saline solution and subsequently washed three times with distilled water. Finally, the larvae were stored in 3 mL Eppendorf tubes with isotonic saline solution (0.9 %) at 4 °C until use in the corresponding bioassay.

e) Experimental design

A completely randomized design was used with four inclusion levels (1.12 %, 2.25 %, 4.5 %, and 9 %), with three replicates for each treatment involving basidiomes and spent substrate collected from the municipalities of Tenango del Aire and Amecameca. For egg assays, readings were taken after 72 hours, while for larval assays, two replicates were prepared, and observations were made at 24 and 48 hours after exposure.

f) Bioassays

Bioassays were conducted at the Laboratorio Multidisciplinario de Investigación and the Laboratorio de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia del Centro Universitario UAEM Amecameca, located at Km 2.5 Carretera Amecameca-Ayapango, Estado de México,

• *Estimation of Egg Hatch Inhibition (EHI) of GIN*

With the previously preserved GIN eggs, a sufficient volume was prepared to achieve an approximate dilution of 100 eggs in 50 µL using a 10–100 µL micropipette (CE-50). A 96-well round-bottom polystyrene microplate with a 360 µL capacity per well (Corning®) was used. In each test well, 50 µL of the *in vitro* digestion solution corresponding to each treatment—basidiomes (B) and spent substrate (SS)—were added, followed by 50 µL of the prepared egg dilution, for a final volume of 100 µL per well. Each treatment and concentration was clearly labeled. Distilled water was used as the negative control, while ivermectin at 5 µg·50 µL⁻¹ was used as the

de huevos por gramo de heces (HPG), el sobrenadante colectado fue centrifugado (Centrifugal Machine 800-1) a 1500 rpm por 5 min en tubos de Vacutainer. El anillo formado por los huevos fue recolectado utilizando una micropipeta (Labnet BioPette Plus) y lavado con agua destilada en tres ocasiones, para eliminar el cloruro de sodio y concentrar los huevos en el fondo del tubo para conservarlos en tubos Eppendorf de 3 mL, con solución salina isotónica (0.9 %) a 4 °C hasta su empleo en el bioensayo.

d) Obtención de larvas

Con el resto de las heces colectadas, se procedió a efectuar un coprocultivo, de acuerdo con el procedimiento reportado por Liébano et al. (2011). Fueron colocadas en una charola de plástico y mezcladas con agua destilada hasta que la consistencia fue pastosa, se añadieron fragmentos de espuma de poliuretano (1.5 x 1.5 x 0.5 cm), cubriendo el recipiente con papel aluminio, dejando una pequeña ventana de ventilación para incubarlas por 12 días a 27 °C en una estufa bacteriológica (Blinder serie 12-08177). Al término del tiempo de incubación, se aplicó la técnica de Baerman para recuperar las larvas L3 a las 24 h posteriores. Una vez colectadas en tubos Vacutainer de plástico, se centrifugaron a 1500 rpm durante 5 min, para obtener las larvas del fondo del tubo se empleó una micropipeta (CE-50). Con el fin de eliminar los detritus, las larvas fueron resuspendidas en solución salina (NaCl) al 40 % y consecutivamente, se procedió a realizar tres lavados con agua destilada. Las larvas se conservaron en tubos Eppendorf de 3 mL con solución salina isotónica (0.9 %) a 4 °C hasta su empleo en el bioensayo correspondiente.

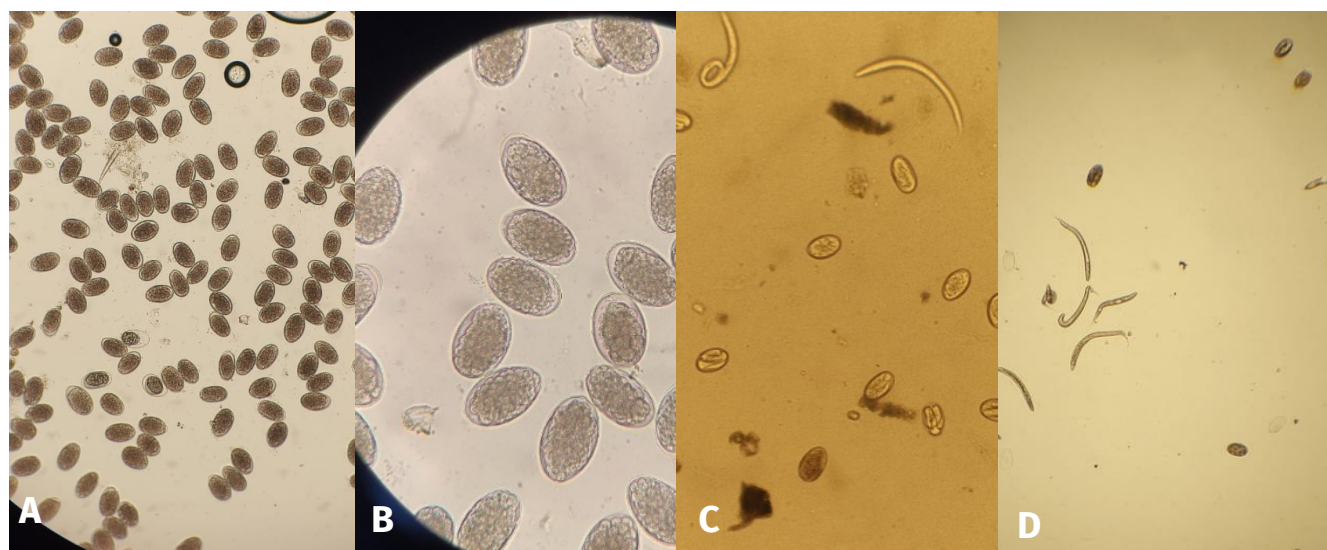
e) Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar con cuatro niveles (1.12, 2.25, 4.5 y 9 %) con tres repeticiones para cada tratamiento de basidiomas y sustrato agotado de los municipios de Tenango del Aire y Amecameca. Para los huevos la lectura se realizó a las 72 horas y en el caso de las larvas, se prepararon dos réplicas para hacer la lectura a las 24 y 48 horas posteriores a la confrontación.

f) Realización de bioensayos

Se realizaron en el Laboratorio Multidisciplinario de Investigación y el Laboratorio de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia del Centro Universitario UAEM Amecameca, km 2.5 Carretera Amecameca-Ayapango, Estado de México.

• *Estimación de la inhibición de la eclosión de huevos (IEH) de NGI*



Note: Microphotographs of gastrointestinal parasite eggs obtained from sheep feces (A and B); eggs and larvae from the bioassay (C and D). Microphotographs taken by the authors.
Nota: Microfotografías de huevos de parásitos gastrointestinales obtenidos de las heces de ovinos (A y B); huevos y larvas derivadas del bioensayo (C y D). Tomadas por los autores.

Figure 1. Sheep gastrointestinal nematode eggs.
Figura 1. Huevos de nematodos gastrointestinales de ovinos.

positive control. The plates were incubated at 27 °C for 72 h and then refrigerated for 4 h to slow down metabolism before reading. For reading, unhatched eggs and larvae (alive or dead) were counted as hatched. Observations were conducted using an optical microscope at 40x magnification (Velab VE-B6 binocular) (Figure 1). The egg hatch inhibition percentage was calculated using the formula reported by Pineda-Alegría (2017):

$$\% \text{ of egg hatch inhibition} = \frac{\text{Treatment average} - \text{Control average} (-)}{\text{Treatment average}}$$

For the larval assay, two exposure times were used: 24 and 48 hours. The same homogenization and dilution procedure used for the egg assay was followed, preparing approximately 100 larvae in 50 µL. In each well corresponding to a treatment, 50 µL of the *in vitro* digestibility solution were added, followed by 50 µL of the diluted larvae in physiological saline solution (0.9 %), resulting in a final volume of 100 µL per well.

Microscopic evaluation was carried out at 40x magnification using an optical microscope. The criteria for determining live larvae were that they showed movement or were coiled, and moved when stimulated; for dead larvae, those that were elongated and showed no movement even when stimulated were considered dead (Figure 2).

The mortality percentage was calculated using the formula reported by Pineda-Alegría (2017):

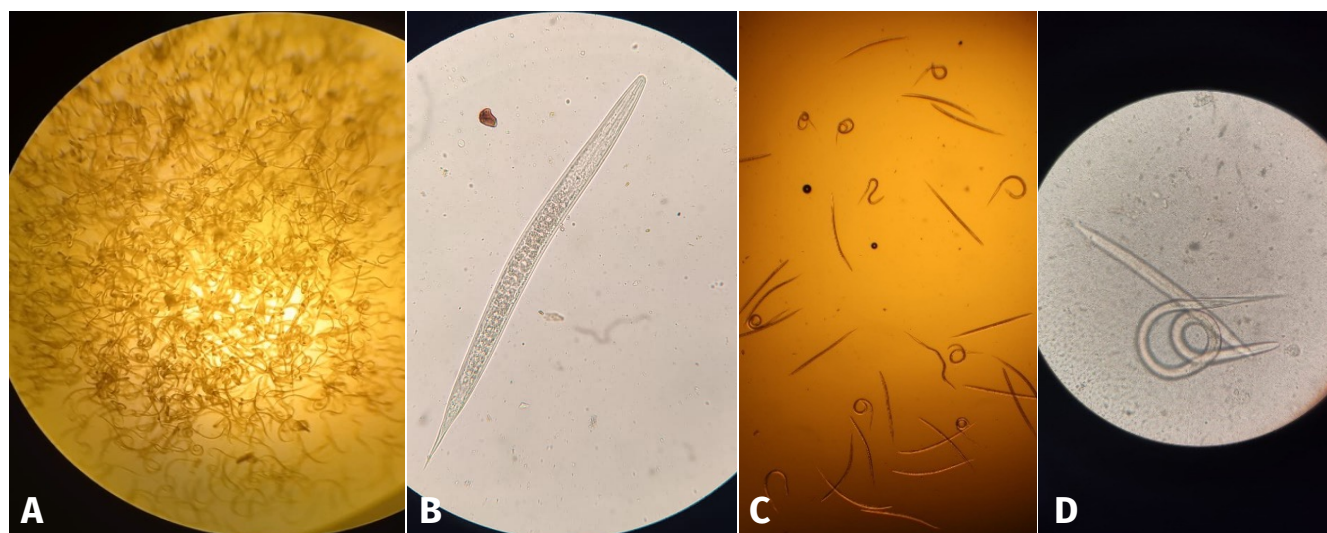
$$\% \text{ Mortality} = \frac{\text{Treatment average} - \text{Control average} (-)}{\text{Treatment average}}$$

Con los huevos de NGI previamente preservados, se preparó el volumen suficiente para conseguir una dilución aproximada de 100 huevos en 50 µL empleando una micropipeta de 10-100 µL (CE-50). Utilizando una microplaca de poliestireno de 96 pocillos de fondo redondo de 360 µL de capacidad (Corning®); en cada pocillo de prueba se colocaron 50 µL, de la solución obtenida de la digestión *in vitro* correspondiente a cada tratamiento (B) y (SA) y añadiendo 50 µL con la dilución ya mencionada de los huevos para un volumen final por pocillo de 100 µL, identificando cada tratamiento y concentración. Como control negativo se empleó agua destilada y como control positivo ivermectina 5µg:50µL⁻¹. Las placas se mantuvieron a 27 °C por 72 h, al finalizar se refrigeraron por 4 h para limitar el metabolismo y proceder a realizar la lectura, considerando los huevos que no eclosionaron y las larvas (vivas o muertas) como eclosionados; se empleó un microscopio óptico a un aumento de 40 X (Velab VE-B6 binocular) (Figura 1). El porcentaje de inhibición de la eclosión se calculó con la fórmula reportada por Pineda - Alegria (2017):

$$\% \text{ inhibición de eclosión de huevos} = \frac{\text{Promedio del Tratamiento} - \text{Promedio del control} (-)}{\text{Promedio del Tratamiento}}$$

• Estimación de la mortalidad de larvas de NGI.

Para el caso de las larvas, fueron empleados dos tiempos de confrontación (24 y 48 h). Para la homogenización y dilución, fue seguido el mismo procedimiento empleado con los huevos, con aproximadamente 100 larvas en 50 µL. Después en cada pocillo del tratamiento correspondiente, se depositaron 50 µL de la solución derivada de la digestibilidad *in vitro*



Note: Microphotographs of larvae obtained from the coproculture of sheep feces (A and B). Comparison between live and dead larvae resulting from the bioassay (C and D). Microphotographs taken by the authors.

Nota: Microfotografías de larvas obtenidas del coprocultivo de las heces de ovinos (A y B). Comparación entre larvas vivas y muertas resultado del bioensayo (C y D). Tomadas por los autores.

Figure 2. Gastrointestinal nematode larvae

Figura 2. Larvas de nematodos gastrointestinales

f) Statistical Analysis

The data on egg hatch inhibition and larval mortality of gastrointestinal nematodes were analyzed using a generalized linear model with ANOVA to examine the differences between the means of the various treatment concentrations applied to both basidiomes and spent substrate. The negative control (distilled water) was used to adjust the mortality percentage.

Results and Discussion

Spent substrates and basidiome extracts of *P. ostreatus* used in the study showed ovicidal and larvicidal effects against GIN affecting sheep.

• Egg Hatch inhibition (EHI)

The results of EHI, assessed 72 hours post-treatment, are presented in Table 1. In all cases, the highest inhibition percentages were observed at the maximum concentration tested (9 %), with the basidiomes (B) from Amecameca showing the highest value (85.7 %). Based on the average EHI per component, all treatments exhibited ovicidal activity above 50 %, with greater efficacy observed in the basidiomes: 69.4 % for Amecameca and 62.4 % for Tenango, compared to the spent substrates (SS), which showed 54.4 % and 56.8 %, respectively.

Regarding the average EHI of concentrations, there was no directly proportional correlation between these

adicionando 50 µL con las larvas diluidas en solución salina fisiológica (0.9 %), para un volumen final de 100 µL. Posteriormente, fue realizada la lectura en un microscopio óptico a un aumento de 40 X. El criterio para establecer las larvas vivas fue que mostraran movimiento o estuvieran enroscadas y al estimularlas se movían; en el caso de las muertas, aquellas que se encontraban elongadas y sin movimiento aun cuando fueran estimuladas (Figura 2).

El porcentaje de mortalidad se calculó con la fórmula reportada por Pineda-Alegría (2017):

$$\% \text{ de Mortalidad} = \frac{\text{Promedio del Tratamiento} - \text{Promedio del Control (-)}}{\text{Promedio del tratamiento}}$$

f) Análisis estadístico

Los datos sobre la inhibición de la eclosión de huevos y la mortalidad de larvas de NGI, fueron analizados mediante un modelo lineal generalizado, usando un análisis de varianza (ANOVA), para examinar las diferencias entre las medias de las diferentes concentraciones de los tratamientos empleados tanto para los basidiomas como para el sustrato agotado. El control negativo (agua destilada) se utilizó para ajustar el porcentaje de mortalidad.

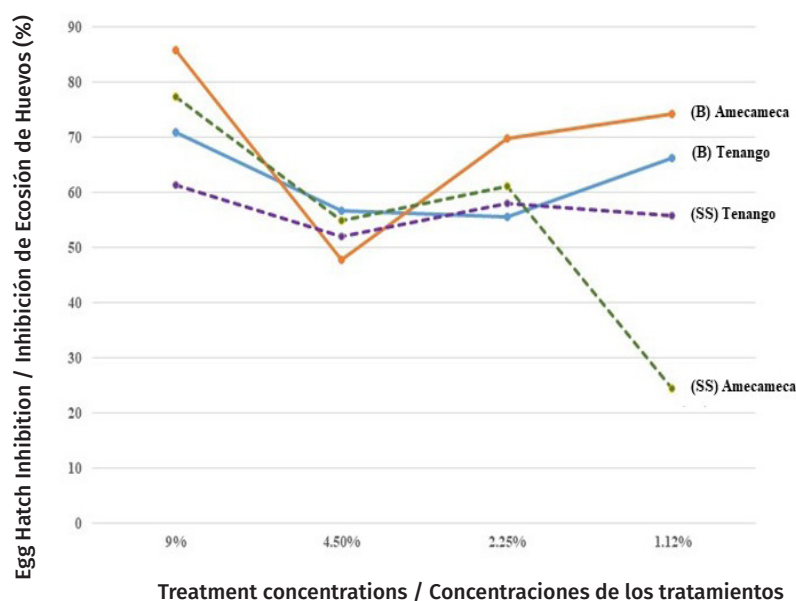
Resultados y Discusión

Los extractos de basidiomas y sustratos agotados de *P. ostreatus* empleados en los tratamientos del estudio, mostraron efectos ovicidas y larvicidas contra NGI que afectan a ovinos.

Table 1. Percentage of egg hatch inhibition 72 hours post-treatment.**Cuadro 1. Porcentaje de inhibición de la eclosión de huevos a las 72 h post-tratamiento.**

CONTROLS AND CONCENTRATIONS / CONTROLES Y CONCENTRACIONES		BASIDIOMES / BASIDIOMAS			EXHAUSTED SUBSTRATE / SUSTRATO AGOTADO		
		Tenango	Amecameca	$\bar{X}$	Tenango	Amecameca	$\bar{X}$
Control (-) Water / Control (-) agua	33.7						
Control (+) Ivermectin / Control / Ivermectina	88.4						
9 %		70.9±16.0 ^b	85.7±10.71 ^b	78.3	61.3±4.7 ^b	77.3±7.5 ^b	69.3
4.50 %		56.7±2.7 ^c	47.8±8.8 ^b	52.3	52.1±14.0 ^a	55.0±6.5 ^b	53.3
2.25 %		55.6±3.1 ^b	69.8±9.1 ^b	62.7	57.9±2.6 ^c	61.1±13.8 ^b	59.5
1.12 %		66.3±7.1 ^b	74.2±12.6 ^b	70.3	55.8±3.1 ^b	24.4±6.4 ^a	40.1
Average / Promedio		62.4	69.4	65.9	56.8	54.5	55.6

$P \leq 0.05$, different letters in the same column indicate statistically significant differences. /
 $P \leq 0.05$, literales diferentes en la misma columna muestran diferencias significativas.

**Figure 3. Percentage of EHI at different treatment concentrations.****Figura 3. Porcentaje de IEH en las diferentes concentraciones de los tratamientos.**

variables (Figure 3), because the highest concentration (9 %, with $\bar{X}_c=78.3$ %); was followed by 2.25 % (61.1 %), 1.12 % (55.2 %), and 4.50 % (52.8 %). According to the ANOVA, significant differences were found among treatments.

The highest average EHI obtained ($\bar{X}=78.3$ %, for B), is comparable to that reported in a study using two fractions of hydroalcoholic extracts of *P. ostreatus*, in which EHI values of 78.8 % for the organic fraction and 76.9 % for the aqueous fraction were observed, both at a concentration of 5 mg·mL⁻¹ (Páez-León et al., 2022).

• Inhibición de la eclosión de huevos (IEH)

Los resultados de la IEH, tomados 72 h post-tratamiento, se muestran en el Cuadro 1. En todos los casos el mayor porcentaje se obtuvo a la máxima concentración empleada (9 %); correspondiendo a los basidiomas (B) de Amecameca el valor más alto (85.7 %). De acuerdo con los promedios de IEH por componente, todos los tratamientos alcanzaron valores superiores al 50 % de actividad ovicida, con mayor eficacia en B con 69.4 % para Amecameca y

Based on the average EHI per component, greater ovicidal efficacy was observed in B with 65.9 %, compared to 55.6 % in SS. These results differ notably from those reported by Magalhães de Matos et al. (2020), who observed 100 % EHI with aqueous extracts of *P. ostreatus* basidiomes at a concentration of 2.24 mg·mL⁻¹. However, it is important to highlight that in the present study, the concentrations of B and SS were based on the inclusion level used in the *in vitro* digestion assay and therefore are not directly comparable. The highest EHI was recorded in B from Amecameca (85.7%) compared to 70.9 % from Tenango. Although the same fungal species (*P. ostreatus*) was used, it has been noted that the concentration of nematicidal metabolites in fungi is linked to biogenesis processes, which are directly influenced by the composition of the cultivation substrate. In particular, the carbon-to-nitrogen (C/N) ratio and carbohydrate content tend to affect the composition and production of metabolites (Chegwin and Nieto, 2013; Sakamoto, 2018).

Similarly, the observed variations are associated with the concentrations used, extraction methods, and exposure times. In hydroalcoholic extracts, Valdez-Uriostegui et al. (2021) reported an EHI of 100 % for B at concentrations of 3.2 and 6.4 mg·mL⁻¹ at 48 h, and 98.1 % and 99.2 % at 72 h, respectively. For SS, EHI values of 77 % (48 h) and 87.2 % (72 h) were reported, both at a concentration of 25.6 µg·mL⁻¹. In comparison, the 4.5 % concentration used in the present study yielded an average EHI of 52.3 % for B and 53.3 % for SS at 72 h, indicating a significant difference in efficacy. In another study using hydroalcoholic extracts, an EHI of 97.6 % was reported for B at 1341 µg·mL⁻¹ after 72 h—only a 0.5 % difference compared to the 3.2 µg·mL⁻¹ treatment but achieved at nearly one-third of the concentration (1.34 mg·mL⁻¹) (Cuevas-Padilla et al., 2024).

With the positive control (Ivermectin, 5µg·50µL⁻¹), an EHI of 88.4 % was obtained. Comparatively, the highest and closest value was observed for B from Amecameca, with 85.7 % (at a concentration of 9 %), indicating good efficacy of the fungal extracts. The results for the anthelmintic are higher than those reported by Mondragón-Ancelmo et al. (2019), who observed 57 % EHI (7 days post-treatment (DPT) with Ivermectin at 0.22 mg·kg⁻¹ body weight), and by Toro et al. (2014), who reported 77 % (15 DPT at 0.2 mg·kg⁻¹). These results are also similar to those obtained by González-Garduño et al. (2014), with 86.7 % EHI (7 DPT with Ivermectin at 0.2 mg·kg⁻¹ body weight). However, the EHI observed is lower than that reported by Collazo-Preciado et al. (2023) in sheep treated with Ivermectin at 4 % (10.2 mg·kg⁻¹), which reached a maximum of 98.4 % at 14 days, as well as by Bosco et al. (2020), with 99.1 % EHI (7 DPT with Ivermectin at 0.2 mg·kg⁻¹ body weight), among

62.4 % para Tenango, en comparación con los sustratos agotados (SA) con 54.4 y 56.8 %, respectivamente.

Respecto a la IEH promedio de las concentraciones, no hubo correlación directamente proporcional entre estas variables (Figura 3), ya que la máxima (9 % con $\bar{X}_c=73.8$ %); fue seguida por la de 2.25 % (61.1 %), 1.12 % (55.2 %) y 4.50 % (52.8 %). De acuerdo con el ANOVA, existieron diferencias significativas entre los tratamientos.

La máxima IEH promedio obtenida ($\bar{X}=78.3$ %, para B), se aproxima a la reportada en el estudio realizado con dos fracciones de extractos hidroalcohólicos de *P. ostreatus*, en donde se informa una IEH para la fracción orgánica de 78.8 % y para la acuosa de 76.9 %, ambas a una concentración de 5 mg·mL⁻¹ (Páez-León et al., 2022).

Con base en la IEH promedio por componente, se obtuvo una mayor eficacia ovicida para B con 65.9 %, en comparación con el 55.6 % de SA. Estos resultados presentan una notable diferencia con los de Magalhães de Matos et al., (2020) quienes reportan una IEH del 100 % en extractos acuosos de B de *P. ostreatus* a una concentración de 2.24 mg·mL⁻¹. No obstante, es importante resaltar que en este estudio las concentraciones de B y SA correspondieron a la inclusión empleada en la digestión *in vitro*, por lo que no es comparable en forma directa; la mayor IEH correspondió a los B de Amecameca (85.7 %) contra el 70.9 % de Tenango. A pesar de tratarse de la misma especie de hongo (*P. ostreatus*). Se ha señalado que las concentraciones de los metabolitos presentes en los hongos con efectos nematocidas, tienen que ver con los procesos de biogénesis directamente influenciados por la composición del sustrato de cultivo. En particular, la relación en el contenido C/N y el contenido de carbohidratos tienden a modificar la composición y producción de metabolitos (Chegwin y Nieto, 2013; Sakamoto, 2018).

Así mismo, las variaciones se relacionan con las concentraciones, tipos de extracción y tiempos de exposición empleados. En extractos hidroalcohólicos, Valdez-Uriostegui et al., (2021) reportan una IEH de B = 100 % a concentraciones de 3.2 y 6.4 mg·mL⁻¹ a 48 h y B = 98.1 y 99.2 % a 72 h, respectivamente. Para SA = 77 % (48 h) y 87.2 % (72 h) ambas a 25.6 mg·mL⁻¹. Entre estas concentraciones, la de 4.5 % empleada en el estudio, registró una IEH promedio de B = 52.3 % y SA = 53.3 % a 72 h, con una diferencia significativa en términos de eficacia. Comparativamente, en otro estudio con extractos hidroalcohólicos, se reporta una IEH de B = 97.6 % (1341 µg·mL⁻¹) a 72 h con una diferencia de 0.5 % a la reportada para 3.2 mg·mL⁻¹, pero a una concentración de casi un tercio (1.34 mg·mL⁻¹) (Cuevas-Padilla et al., 2024).

Table 2. Larval mortality (%) of GIN at 24 and 48 hours post-treatment at different concentrations of fungal extracts and spent substrate.**Cuadro 2. Porcentaje de mortalidad de larvas de NGI a las 24 y 48 h post-tratamiento a diferentes concentraciones de hongos y sustrato agotado**

CONTROLS AND CONCENTRATIONS / CONTROLES Y CONCENTRACIONES			BASIDIOMES / BASIDIOMAS			EXHAUSTED SUBSTRATE / SUSTRATO AGOTADO			
			Tenango	Amecameca	$\bar{X}$	Tenango	Amecameca	$\bar{X}$	$\bar{X}_c$
24 h / 24 hrs	Control (-) Water / Control (-) Agua	35.9							
	Control (+) Ivermectin Control (+) Ivermectina	99.5							
	9 %		60.6±0.9 ^b	60.7±1.9 ^a	60.7	61.1±1.1 ^b	61.0±0.8 ^c	61.1	60.9
	4.50 %		60.2±1.0 ^b	59.1±1.9 ^a	59.7	59.6±1.6 ^a	57.5±1.3 ^b	58.6	59.1
	2.25 %		57.2±1.8 ^a	55.4±3.1 ^a	56.3	55.1±3.2 ^a	54.5±2.1 ^a	54.8	55.6
	1.12 %		56.5±2.1 ^a	53.4±5.1 ^a	55.0	52.7±4.9 ^a	54.1±3.9 ^a	53.4	54.2
	Average / Promedio		58.6	57.1	57.9	57.1	56.8	56.9	
48 h / 48 hrs	Control (-) Water / Control (-) Agua	33.5							
	Control (+) Ivermectin / Control (+) Ivermectina	97.5							
	9 %		65.4±0.5 ^c	65.7±0.3 ^b	65.6	64.9±0.5 ^c	65.5±0.3 ^a	65.2	65.4
	4.50 %		64.9±0.5 ^c	64.8±0.9 ^b	64.9	64.5±0.7 ^c	63.6±0.8 ^c	64.1	64.5
	2.25 %		62.1±0.962 ^b	62.9±1.1 ^b	62.5	63.0±1.4 ^b	64.3±0.7 ^c	63.7	63.1
	1.12 %		63.1±1.4 ^b	62.1±3.1 ^a	62.6	61.5±1.3 ^b	61.1±1.9 ^a	61.3	62.0
	Average / Promedio		63.9	63.9	63.9	63.5	63.6	63.6	

$P \leq 0.05$, different letters in the same column indicate statistically significant differences /
 $P \leq 0.05$, literales diferentes en la misma columna muestran diferencias significativas.

other studies. According to McKenna (2006) and Kaplan et al. (2023), values lower than 95 % are indicative of anthelmintic resistance (AR) or suggest that the recommended dosage by the manufacturer (0.2 mg·kg⁻¹) may be insufficient for an effective response. Based on the results obtained, it is considered more likely that the observed differences are due to AR, associated with the type of control used in the herds.

• Larvicidal Activity

Larvicidal activity results are presented comparatively in Table 2, showing closely similar values between B and SS for each exposure time (Figure 4). As observed with EHI, the highest efficacy was achieved at the maximum concentration (9 %). At 24 hours, larvicidal efficacy was

Con el control positivo (Ivermectina, 5µg·50µL⁻¹), se obtuvo una IEH de 88.4 %; comparativamente, el valor máximo y más cercano fue para B de Amecameca, con 85.7 % (concentración de 9 %), lo que representa una buena eficacia de los extractos del hongo. Los resultados para el antihelmíntico son superiores a los reportados por Mondragón-Ancelmo et al. (2019), de 57 % (7 días post-tratamiento (DPT) con Ivermectina de 0.22 mg·kg⁻¹ de peso corporal) y por Toro et al. (2014), con un 77 % (15 DPT y 0.2 mg·kg⁻¹). Asimismo, se aproximan a los obtenidos por González-Garduño et al. (2014) con 86.7 % (7 DPT con Ivermectina 0,2 mg·kg⁻¹ PV). Sin embargo, el IEH es inferior al reportado por Collazo-Preciado et al. (2023) en ovinos tratados con Ivermectina al 4% (10.2 mg·kg⁻¹) con un máximo de 98.4 % a los 14 días; así como, por Bosco et al. (2020),

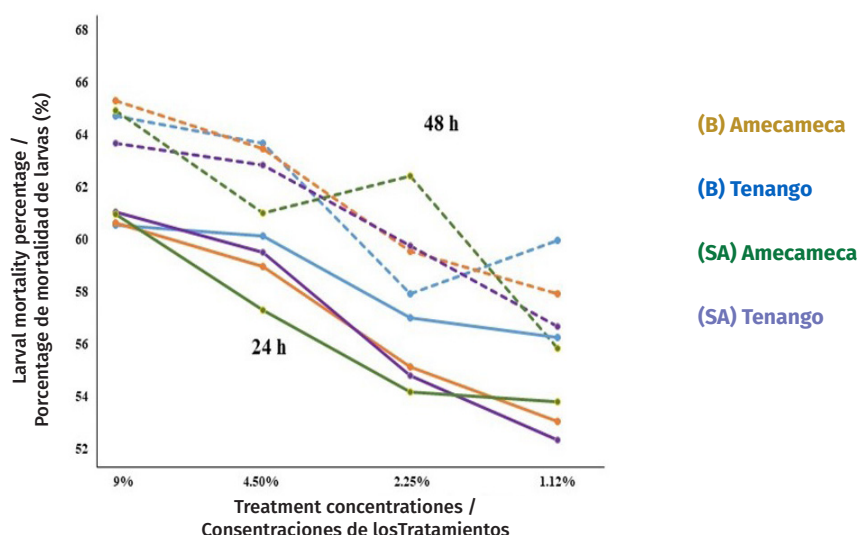


Figure 4. Larval mortality percentage at 24 and 48 h.
Figura 4. Porcentaje de mortalidad de larvas a las 24 y 48 h.

B = 60.7 % for Amecameca and 60.6 % for Tenango, while SS showed 61.0 % and 61.1 %, respectively. At 48 hours, efficacy increased, with B = 65.7 % and 65.4 %, and SS = 65.5 % and 64.9 % for Amecameca and Tenango, respectively. According to ANOVA, there were statistically significant differences between exposure times.

The average larval mortality values at 24 h were 57.9 % for B and 56.9 % SS; at 48 h, mortality increased to 63.9 % and 63.6 %, respectively. In a study using hydroalcoholic extracts (70:30 ethanol-water) of B and SS from *P. ostreatus*, with the same exposure times, Valdés-Uriostegui et al. (2021) reported a lower larval mortality for B at 24 h (50.5 %) compared to the present study, but a higher value (70.5 %) at 48 h. Nevertheless, both studies align in identifying increased larval mortality with longer exposure times. However, significant differences were observed in SS: 7.3 % mortality at 24 h and 2.5 % at 48 h representing a 56 % and 61.1 % difference, respectively, compared to the results obtained in this study. Greater consistency was found with the findings of Rodríguez (2022), who tested 10 hydroalcoholic extracts of SS (prepared with 200 g of SS powder in 200 mL of 95 % methanol), and found that all exhibited larvicidal effects above 50 %, with the highest mortality (98.5 %) recorded at 48 h for one substrate.

As previously mentioned, the extraction method and the substrates used for fungal cultivation can alter the quantity of larvicidal metabolites available and, consequently, their effectiveness. In these cases, although the same exposure times (24 and 48 h) were used, the methodology for applying treatments differed, which also influences the outcomes. Unlike the referenced

con 99.1 % (7 DPT con Ivermectina 0.2 mg·kg⁻¹ PV), entre otros estudios. De acuerdo con McKenna (2006) y Kaplan et al. (2023), valores menores al 95 %, son indicativos de una resistencia al antihelmíntico (RAH) o que la dosis recomendada por el fabricante (0.2 mg·kg⁻¹) puede ser insuficiente para tener una buena respuesta. Por los resultados obtenidos, se considera que es mayor la posibilidad de que las diferencias se deban a RAH, asociadas al tipo de control empleado en los rebaños.

• Actividad larvicida

Respecto a la actividad larvicida, los resultados se presentan comparativamente en el Cuadro 2, donde se muestran valores muy cercanos para B y SA, para cada uno de los tiempos de exposición (Figura 4). Al igual que en IEH, la mayor eficacia se alcanzó a la máxima concentración (9 %). A las 24 h con B = 60.7 % para Amecameca y 60.6 % para Tenango, y SA = 61.0 y 61.1 %, respectivamente. A las 48 h, la eficacia larvicida fue mayor con B = 65.7 y 65.4 % y SA = 65.5 y 64.9 % para Amecameca y Tenango, en cada caso. Con base en el ANOVA, existen diferencias significativas entre los tiempos de exposición.

Los valores promedio a las 24 h, fueron 57.9 % (B) y 56.9 % (SA); mientras que a las 48 h fueron 63.9 y 63.6 %, respectivamente. En un estudio realizado con extractos hidroalcohólicos (70:30 etanol-agua) de B y SA de *P. ostreatus*, empleando los mismos tiempos de exposición, Valdés-Uriostegui et al. (2021), reportan para B a las 24 h un porcentaje menor de mortalidad larvaria (50.5 %) al obtenido en este estudio, pero mayor (70.5 %) a las 48 h; aunque coinciden con la identificación de

studies that evaluated the nematicidal efficacy of *P. ostreatus* against gastrointestinal nematodes of sheep using direct confrontation with extracts obtained through solvents of differing polarity (ethanol and methanol), the present study prepared treatments simulating ruminal conditions. MS was used as the base forage, and ruminal fluid was enriched with CO₂ to ensure anaerobic fermentation, mimicking the rumen environment conditions. This allowed for an *in vitro* approximation of the nematicidal effect of both basidiomes and spent substrate, more closely resembling natural conditions. The results confirm that the metabolites present in both B and SS exert a positive effect on egg hatch inhibition and larval mortality of GIN in sheep. This study provides evidence that under *in vitro* conditions the ovicidal and larvicidal properties of the fungus and exhausted substrate are preserved even after ruminal digestion factors not previously addressed in similar studies. Moreover, no adverse effects on ruminal microbiota activity were observed due to the metabolites present in either basidiomes or spent substrate.

Based on the results achieved, it can be inferred that, with the increase of treatment concentrations and exposure times, better results can be obtained. However, the use of alternatives to commercial anthelmintics should be considered as part of an integrated control strategy, rather than as the sole method of control. Furthermore, the nematode larvae used in this study do not appear to exhibit resistance to macrocyclic lactones; nevertheless, it is important to note that resistance to these drugs has been reported in various other studies.

Conclusions

The results generated confirm the ovicidal and larvicidal activity of *P. ostreatus* against gastrointestinal nematodes of sheep. In both cases, the best outcomes were observed at the highest treatment concentration (9 %), with greater efficacy in basidiome extracts compared to spent substrate extracts. In the *in vitro* egg hatch (IEH) test, the highest efficacy was achieved with basidiomes from Amecameca. The larvicidal effect was most pronounced at 48 h, with higher efficacy observed in both B and ES extracts from Tenango.

These findings provide evidence that the bioactive metabolites present in both the basidiomes of *P. ostreatus* and in the spent substrate—rich in mycelium and some fungal primordia—retain their nematicidal properties after *in vitro* digestion. They demonstrate efficacy in inhibiting egg hatching and inducing larval mortality of GIN, highlighting the significant potential for using both basidiomes and spent substrates in the biological control of parasitic nematodes.

una mayor mortalidad a mayores tiempos de exposición. Sin embargo, en SA hay diferencias significativas, al registrar 7.3 % (24 h) y 2.5 % (48 h) con una diferencia de 56 % y 61.1 %, respectivamente, respecto a lo obtenido en este estudio. Mayor concordancia con lo reportado por Rodríguez (2022) quien probó 10 extractos hidroalcohólicos de SA (200 g de polvo de SA en 200 mL de metanol al 95 %), obteniendo que todos tuvieron un efecto larvicida superior al 50 %, con el mayor porcentaje (98.5) a las 48 h de exposición para un sustrato.

Como se refirió, el tipo de extracción y los sustratos empleados en el cultivo de hongos, pueden modificar la cantidad de metabolitos con acción larvicida disponibles y, por tanto, sus efectos. En estos casos, aunque se emplearon los mismos tiempos de exposición (24 y 48 h) la metodología empleada en la aplicación de los tratamientos es diferente, lo que de igual forma influye en los resultados. A diferencia de las investigaciones referidas que evalúan la eficacia nematicida de *P. ostreatus* contra NGI de ovinos, mediante la confrontación directa de extractos obtenidos con solventes de diferente polaridad (etanol y metanol), en el presente estudio, los tratamientos se elaboraron simulando las condiciones del ambiente ruminal, utilizando el EM como forraje base y líquido ruminal gasificado con CO₂, para garantizar la fermentación anaerobia como sucede en el rumen, lo que permitió una aproximación *in vitro* del efecto nematicida de los basidiomas y sustrato agotado, más cercana a la que se presenta en condiciones naturales, corroborando que el efecto de los metabolitos presentes tanto en B como en SA, tienen un efecto favorable sobre la inhibición de la eclosión de los huevos y la mortalidad en las larvas de NGI de ovinos.

Este trabajo proporciona evidencia de que en condiciones *in vitro*, se conservan las propiedades ovicidas y larvicidas del hongo y el sustrato agotado posterior a la digestión en el rumen, lo cual no se había realizado anteriormente en otros trabajos similares, asimismo no se muestra alteración de la actividad del microbiota ruminal por efecto de los metabolitos presentes en los basidiomas o el sustrato agotado.

Con base en los resultados obtenidos, se puede inferir que, con el aumento de las concentraciones de los tratamientos y tiempos de exposición, pueden obtenerse mejores resultados. No obstante, el empleo de alternativas diferentes al uso de antihelmínticos comerciales, debe considerarse como parte del control integral y no solo como única medida de control. Por otro lado, las larvas de nematodos empleadas en este estudio aparentemente no muestran resistencia a las lactonas macrocíclicas, pero no debe pasarse por

Determining the optimal concentrations *in vitro* will enable subsequent *in vivo* trials aimed at promoting the sustainable control of parasites and, where applicable, exploring potential administration routes for either the basidiomes or the spent substrate of this fungus. This approach would allow for the restriction of commercial anthelmintic use to cases requiring selective treatment, thereby contributing not only to improved health and welfare of sheep—and thus increased productivity—but also to the reduction of negative environmental impacts, particularly on soil health, as is the case with macrocyclic lactones.

End of English version

References / Referencias

- Arsenopoulos, K. V., Fthenakis, G. C., Katsarou, E. I., & Papadopoulos, E. (2021). Haemonchosis: A challenging parasitic infection of sheep and goats. *Animals*, 11(2), 1–29. <https://doi.org/10.3390/ani11020363>
- Bayne, J. E., & Edmondson, M. A. (2021). Diseases of the gastrointestinal system. In Pugh, D. G., Passler, T., Edmondson, M. A., & Baird, A. N. *Sheep, Goat and Cervid Medicine*, 3rd Edition. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-62463-3.00014-1>
- Bosco, A., Kießler, J., Amadesi, A., Varady, M., Hinney, B., Ianniello, D., Maurelli, M. P., Cringoli, G., & Rinaldi, L. (2020). The threat of reduced efficacy of anthelmintics against gastrointestinal nematodes in sheep from an area considered anthelmintic resistance free. *Parasites & Vectors*, 13, 457. <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04329-2>
- Chávez-Espinoza, M., Cantú-Silva, I., González-Rodríguez, H., & Montañez-Valdez, O. D. (2022). Small ruminant production systems in Mexico and their effect on productive sustainability. *Revista MVZ Córdoba*, 27(1), e2246. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2246>
- Chegwin, A. C., & Nieto I. J. (2013). Influencia del medio de cultivo en la producción de metabolitos secundarios del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* cultivado por fermentación en estado líquido empleando harinas de cereales como fuente de carbono. *Revista Mexicana de Micología* 37:1-9. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmm/v37/v37a2.pdf>
- Claerebout, E., de Wilde, N., van Mael, E., Casaert, S., Velde, F. V., Roeber, F., Vinueza, V. P. V., Leveck, B., & Geldhof, P. (2020). Anthelmintic resistance and common worm control practices in sheep farms in Flanders, Belgium. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 20, 100393. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2020.100393>
- Collazo-Preciado, G., López-Rodríguez, A., Pineda-Lucatero, J., López-Rodríguez, L. A., & Macedo-Barragán, R. (2023). Eficacia de la ivermectina y del albendazol sulfóxido para el control de nematodos gastrointestinales en ovejas Pelibuey. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 34(2): e23533. <https://doi.org/10.15381/rivep.v34i2.23533>
- COPLADEM (Marzo 19, 2022). Plan de Desarrollo Municipal Ayapango 2022-2024. Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado de México. <https://tinyurl.com/4wuefym>
- Cuevas-Padilla, E. J., Hernández-Velázquez, V. M., Cardoso-Taketa, A., Sánchez, J. E., Vargas-Uriostegui, P., Dantan-González, E., Castañeda-Ramírez, G. S., de Freitas, S. F. E., Páez-León, S. Y., & Aguilar-Marcelino, L. (2024). Crude extracts of *Pleurotus* spp. and the presence of their proteins in the ovicidal and larvicidal activity of *Haemonchus contortus*, *Journal of Medicinal Food* 27(4),379-384. <http://doi.org/10.1089/jmf.2023.0014>

Conclusiones

Los resultados generados ratifican la actividad ovicida y larvica de *P. ostreatus*, contra NGI de ovinos. En ambos casos, los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos de máxima concentración (9 %), con una mayor eficacia en los extractos de los basidiomas, sobre los de sustrato agotado. En la IEH, la mayor eficacia se obtuvo con B de Amecameca. El efecto larvica, con mejores resultados a las 48 h, y una mayor eficacia tanto en B como en SA de Tenango.

Estos resultados aportan evidencia de que los metabolitos con actividad biológica tanto de los basidiomas de *P. ostreatus*, así como del sustrato agotado rico en micelio y algunos primordios del hongo, conservan sus propiedades nematocidas después de la digestión *in vitro*, mostrando eficacia tanto en la inhibición de la eclosión de huevos como en la mortalidad de larvas de NGI, representando altas potencialidades para el uso de basidiomas y sustratos agotados en el control biológico de los parásitos

Determinar *in vitro* las concentraciones óptimas, hará posible el realizar pruebas *in vivo* para promover un control sustentable de los parásitos y explorar en su caso las posibles vías de administración de los basidiomas o el sustrato agotado de este hongo, restringiendo el uso de los antihelmínticos comerciales a casos que requieran de tratamiento selectivo, contribuyendo no solo a mejorar la salud y bienestar de los ovinos y con ello, la productividad; sino reduciendo el impacto negativo que generan al ambiente, en particular a la salud del suelo como es el caso de las lactonas macrocíclicas.

Fin de la versión en español

- DOF (Octubre 16, 1995). Norma Oficial Mexicana NOM-024-ZOO-1995, Diario Oficial de la Federación. <https://tinyurl.com/2p94t2xj>
- Figueroa, C. J. A., Jasso, V. C., Liébano, H. E., Martínez, L. P. Rodríguez, V. R. I., & Zárate, R. J. J. (2015). Examen Coproparasitológico. En Rodríguez-Vivas, R. I. (Ed.). *Técnicas para el diagnóstico de parásitos con importancia en salud pública veterinaria* (pp. 78-128). AMPAVE-CONASA, México.
- González-Garduño, R., López-Arellano, M. E., Ojeda-Robertos, N., Liébano-Hernández, E., & Mendoza-de Gives, P. (2014). Diagnóstico *in vitro* y en campo de resistencia antihelmíntica en nematodos gastrointestinales de pequeños rumiantes. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 46(3), 399-405. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2014000300008>.
- Kaplan, R. M., Denwood, M. J., Nielsen, M. K., Thamsborg, S. M., Togerson, P. R., Gilleard, J. S., Dobson, R. J., Vercruyse, J., & Levecke, B. (2023). World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology (W.A.A.V.P.) guideline for diagnosing anthelmintic resistance using the faecal egg count reduction test in ruminants, horses and swine. *Veterinary Parasitology*, 318, 109936. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2023.109936>.
- Liébano, H. E., López, A. M. E., Mendoza de G. P., & Aguilar, M. L. (2011). Manual de Diagnóstico para la identificación de larvas de nematodos gastrointestinales en rumiantes. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, México.
- López-Rojas, E., Martínez-García, C., & Plata-Reyes, D. (2024). Herramienta para la evaluación del desempeño agroecológico en sistemas de producción de leche en pequeña escala. *Revista Investigium IRE: Ciencias Sociales y Humanas*, 15(1), 148-163. <https://doi.org/10.15658/INVESTIGIUMIRE.241501.09>
- Magalhães de Matos, A. F. I., Trevisan, L., Giacometti, M., Martins, B. B., Correia, V. F. R., Roulim, S. D., & Gonzalez, M. S. (2020). Nematocidal effect of oyster culinary-medicinal mushroom *Pleurotus ostreatus* (Agaricomycetes) against *Haemonchus contortus*. *International Journal of Medicinal Mushrooms* 22(11), 1089-1098. <http://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2020036364>
- McKenna, P. (2006). A comparison of faecal egg count reduction test procedures. *New Zealand Veterinary Journal*, 54(4), 202-203. <http://doi.org/10.1080/00480169.2006.36697>
- Mondragón-Ancelmo, J., Olmedo-Juárez, A., Reyes-Guerrero, D. E., Ramírez-Vargas, G., Ariza-Román, A. E., López-Arellano, M. E., Mendoza-de Gives, P., & Napolitano. (2019). Detection of Gastrointestinal Nematode Populations Resistant to Albendazole and Ivermectin in Sheep. *Animal (Basel)*, 9(10), 775. <http://doi.org/10.3390/ani9100775>
- Ortiz, de M. C. M., Torres, A. J. F. J., Ojeda, R. N. F., González, R. L., & Muñoz, M. S. A. (2022). Manejo integrado de parásitos en pequeños rumiantes. *Bioagrociencias*, 15(2), 1-10. <http://doi.org/10.56369/BAC.4463>
- Páez-León, S. Y., González-Cortázar, M., Sánchez-Vázquez, J. E., Torres-Acosta, J. F. J., Téllez-Téllez, M. García-Flores, A., Castañeda-Ramírez, G. S., & Aguilar-Marcelino, L. (2022). Bio-directed chemical study of *Pleurotus ostreatus* spent substrate and its nematocidal activity. *Acta Parasitológica* 67(4),1603-1611. <http://doi.org/10.1007/s11686-022-00600-x>
- Pineda-Alegria, J. A., Sánchez-Vázquez, J. E., González-Cortazar, M., Zamilpa, A., López-Arellano, M. E., Cuevas-Padilla, E. J., Mendoza-De-Gives, P., & Aguilar-Marcelino, L. (2017). The Edible Mushroom *Pleurotus djamor* produces metabolites with lethal activity against the parasitic nematode *Haemonchus contortus*. *Journal of Medicinal Food*, 20(12), 1184-1192. <https://doi.org/10.1089/jmf.2017.0031>
- Reyes-Guerrero, D. E., Olmedo-Juárez, A., & Mendoza-de Gives, P. (2021). Control and prevention of nematodiasis in small ruminants: background, challenges and outlook in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(3), 186-204. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5840>
- Rivero-Perez, N., Jaramillo-Colmenero, A., Peláez-Acero, A., Rivas-Jacobo, M., Ballesteros-Rodea, G., & Zaragoza-Bastida, A. (2019). Anthelmintic activity of *Leucaena leucocephala* pod on gastrointestinal nematodes of sheep (*in vitro*). *Abanico Veterinario*, 9(1). <https://doi.org/10.21929/abavet2019.95>
- Rodríguez, B. T. M. (2022). Evaluación *in vitro* del efecto letal en huevos y larvas (L3) de *Haemonchus contortus* de diez extractos hidroalcohólicos de diferentes mezclas de sustrato degradado de *Pleurotus ostreatus*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. <https://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/2727>
- Sakamoto, Y. (2018). Influences of environmental factors on fruiting body induction, development and maturation in mushroom-forming fungi. *Fungal Biology Reviews*, 32(4),236-248. <https://dx.doi.org/10.1016/j.fbr.2018.02.003>
- Theodorou, M. K., Williams, B. A., Dhanoa, M. S., Mcallan, A. B., & France, J. (1994). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*. 48(3-4), 185-197. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)
- Toro, A., Rubilar, L., Palma, C., & Pérez, R (2014). Resistencia antihelmíntica en nematodos gastrointestinales de ovinos tratados con ivermectina y fenbendazol. *Archivos de Medicina Veterinaria* (Valdivia), 46(2), 247-252 <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2014000200010>
- Valdez-Uriostegui, L. A., Sánchez-García, A. D., Zamilpa, A., Sánchez, J. E., González-Garduño, R., Mendoza-de Gives, P., Castañeda-Ramírez, G. S., González-Cortázar, M., & Aguilar-Marcelino, L. (2021). *In vitro* evaluation of hydroalcoholic extracts of mycelium, basidiomata and spent substrate of *Pleurotus ostreatus* against *Haemonchus contortus*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24, ID 62: 1-10. <https://tinyurl.com/4tfrb9z7>
- Vázquez-Martínez, I., Jaramillo-Villanueva, J. L., Bustamante-González, A., Vargas-López, S., Calderón-Sánchez, F., Torres-Hernández, G., & Pittroff, W. (2018). Estructura y tipología de las unidades de producción ovinas en el centro de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15(1), 85-97. <https://tinyurl.com/32yr84yp>



EN

Characterization of small-scale cattle ranching in the Isthmus of Tehuantepec, Oaxaca

ES

Caracterización de la ganadería bovina de pequeña escala en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca

Rubén Manuel Zepeda Cancino*; Verónica Vázquez García

Colegio de Postgraduados, Carretera México-Texcoco, km 36.5, Montecillo, Texcoco Estado de México. C. P. 56264. México.

*Corresponding author: mvz.zepeda@gmail.com ORCID: 0000-0002-1586-7059

Abstract

Small-scale cattle ranching contributes to food security and the income of rural households through the sale of milk, calves, and cheese. This study aimed to characterize small-scale cattle ranching and identify the challenges it faces in the Isthmus of Tehuantepec region in the state of Oaxaca, Mexico. A mixed-methods approach was used, combining quantitative and qualitative data. Data were collected through interviews, workshops, participant observation, and a structured questionnaire. In the study area, the average production unit comprises no more than 22 hectares and 40 head of cattle. Artisan cheese production is more prevalent in Unión Hidalgo than in La Venta. Milk production can drop by up to one-third during the dry season. Participants identified the main challenges as severe droughts and low sale prices for their livestock products. In a context increasingly marked by prolonged droughts and the lack of fair markets, there is an urgent need for public policies aimed at promoting effective adaptation strategies to ensure the survival of small-scale cattle ranching in the region.

*Corresponding author:
mvz.zepeda@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-1586-7059
Received: December 6, 2024
Accepted: April 3, 2025

Published online: August 7, 2025

Keywords: Agricultural production, cattle, drought (Thesaurus), extensive livestock farming, climate change.

Resumen

La ganadería bovina de pequeña escala es una actividad que contribuye a la seguridad alimentaria y a los ingresos de las familias rurales a través de la comercialización de leche, becerros y queso. El objetivo de este estudio fue caracterizar la ganadería bovina de pequeña escala e identificar los retos que enfrenta en la región del Istmo de Tehuantepec en el estado de Oaxaca. El estudio se realizó con base en una estrategia metodológica mixta que combinó datos cuantitativos y cualitativos. Se realizaron entrevistas, talleres, observación participante y se aplicó un cuestionario. En la zona de estudio las unidades de producción no superan, en promedio, las 22 hectáreas y las 40 cabezas de ganado. En Unión Hidalgo hay mayor presencia de elaboración de queso artesanal en comparación con La Venta. La producción de leche se llega a reducir hasta en un tercio durante la época de secas. La población de estudio mencionó que los principales retos que enfrentan son la presencia de sequías intensas y los bajos precios de venta de sus productos pecuarios. En un contexto de sequías intensas y la falta de un mercado justo es necesario diseñar políticas públicas que busquen estrategias de adaptación eficaces para la subsistencia de la ganadería bovina de pequeña escala en la zona de estudio.

Palabras clave: Producción agrícola, ganado vacuno, sequía (tesauros), ganaría extensiva, cambio climático.

Please cite this article as follows (APA 7): Zepeda Cancino, R. M., & Vázquez García, V. (2025) Characterization of small-scale cattle ranching in the Isthmus of Tehuantepec, Oaxaca. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 5, doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.05.06>

Introduction

In Mexico, cattle ranching is one of the most prominent primary activities, with an inventory of 36.6 million head of cattle occupying approximately 108.9 million hectares—equivalent to 55 % of the national territory (Agri-Food and Fisheries Information Service [SIAP], 2024). Cattle production takes place at various scales (small, medium, and large) and makes a significant contribution to food security and household income through the production and marketing of milk, calves, fattened cattle, and dairy by-products such as cheese, cream, sweets, and others (Hernández et al., 2018).

In the case of small-scale cattle ranching, this activity provides income to cover both the operating costs of the production unit and the household's basic needs (Mora et al., 2018). These production units typically manage a limited number of animals and small areas of land. Their management takes place within the framework of family farming, which integrates livestock, agriculture, and forestry activities within a single productive space and is carried out primarily by family members (Villagómez & del Ángel-Pérez, 2018). While part of the production is intended for household consumption—thus playing an important role in food security—a greater share is sold, contributing to household income (Salazar & Noriega, 2018).

Small-scale cattle ranching typically involves landholdings of less than 50 hectares, an average of 30 milking cows, and a predominantly family-based labor force (Hernández et al., 2018). According to the National Institute of Statistics and Geography [INEGI] (2022), more than 14 million head of cattle nationwide are raised on land parcels smaller than 50 hectares. Income from this type of ranching is primarily generated through the sale of milk and weaned calves. In some households, milk is processed into artisanal cheese—an activity in which women play a prominent role (Mora et al., 2018).

Small-scale cattle ranching in southeastern Mexico is characterized by the crossbreeding of *Bos taurus* and *Bos indicus*. Animal feeding is primarily based on an extensive grazing system with a variety of improved grasses, such as *Urochloa brizantha* and *Megathyrsus maximus*. Native grasses include *Paspalum fasciculatum*, *Paspalum plicatulum*, *Axonopus compressus*, and *Hymenachne amplexicaulis*. This is combined with minimal supplementation—mainly agro-industrial by-products and crop residues—during the dry season (Enríquez et al., 2011; Magaña-Monforte et al., 2006). The region also supports a wide diversity of endemic tree species, such as *Gliricidia sepium* and *Guazuma ulmifolia*, which have multipurpose potential (fire-

Introducción

En México la ganadería bovina es una de las actividades primarias con mayor presencia ya que cuenta con un inventario de 36.6 millones de cabezas de ganado bovino que ocupan cerca de 108.9 millones de hectáreas para su desarrollo, lo que representa el 55 % del territorio nacional (Servicio de Información Agroalimentaria [SIAP], 2024). La producción ganadera bovina se realiza en distintas escalas (pequeña, mediana y gran escala) y contribuye de manera importante a la seguridad alimentaria y a los ingresos generados a través de la producción y comercialización de leche, becerros, animales de engorda y subproductos lácteos como el queso, crema, dulces, entre otros (Hernández et al., 2018).

En el caso de la ganadería bovina de pequeña escala, esta permite obtener ingresos para cubrir los gastos para el funcionamiento de la unidad de producción, así como para el sostenimiento de la familia (Mora et al., 2018). Estas unidades de producción tienen un limitado número de animales y superficies de tierra, y las actividades de manejo se realizan en el contexto de la ganadería familiar, la cual organiza las actividades agropecuarias, como son la ganadería, agricultura y forestales, en un mismo espacio productivo y se realizan principalmente por integrantes de la familia (Villagómez & del Ángel-Pérez, 2018). La producción de esta ganadería, en muchos casos se destina al autoconsumo y, por tanto, juega un papel importante para la seguridad alimentaria, pero un mayor porcentaje de esta producción es objeto de venta que contribuye a la obtención de ingresos económicos para las familias (Salazar & Noriega, 2018).

La ganadería bovina de pequeña escala comúnmente posee superficies de tierra por debajo de las 50 ha, en promedio 30 vacas en ordeña y una fuerza de trabajo predominantemente familiar (Hernández et al., 2018). El Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2022) reporta a nivel nacional la existencia de más de 14 millones de cabezas de ganado bovino que se ubican en superficies de tierra por debajo de las 50 ha. Los ingresos de esta ganadería se dan principalmente a través de la comercialización de la leche y becerros al destete; en algunas familias la leche se llega a transformar en queso de manera artesanal, donde las mujeres juegan un papel preponderante (Mora et al., 2018).

En el sureste mexicano, la ganadería bovina de pequeña escala se caracteriza por tener animales de las cruces entre *Bos taurus* y *Bos indicus*. La alimentación de los animales es con base en un modelo de pastoreo extensivo con la presencia de diversos pastos mejorados, como es el *Urochloa brizantha* o el *Megathyrsus*

wood, living fences, shade, and forage). However, as noted by Bautista-Tolentino et al. (2011) for the state of Veracruz, few ranchers make effective use of these resources.

The state of Oaxaca ranks sixth nationally in cattle inventory, with 1,844,891 head of cattle (SIAP, 2025). The Isthmus of Tehuantepec stands out for its strong livestock orientation, with nearly half a million head of cattle (SIAP, 2020). This region contributes just over a quarter of the state's total milk (26 %) and live cattle (27 %) production (Secretariat of Agricultural Development, Fisheries, and Aquaculture [SEDAPA], 2016). In the region, maize and sorghum are commonly used as supplementary cattle feed. However, cattle ranching in the Isthmus is also marked by limited capacity development, insufficient technical assistance, and low productivity and reproductive performance (SEDAPA, 2016).

One of the main challenges facing cattle ranching in the region is the recurrent droughts over the past decade, which have ranged from moderate to extreme (National Water Commission [CONAGUA], 2022). These events have caused the death of hundreds of animals and the loss of crops, significantly affecting the incomes of ranching families (López, 2020; López, 2024). Between 2012 and 2019, milk production in the Isthmus declined by 25 % (SIAP, 2020). Currently, small-scale cattle ranching faces a range of risks, among which climate change stands out, manifested through severe droughts and floods. These climate events directly affect forage production, increase the spread of pests and diseases, and expose livestock to extreme heat or cold, prompting ranching families to implement adaptation measures (Gallardo-Chávez et al., 2019). In addition to the impacts of climate change at the national level, agricultural producers also report other challenges, such as the high cost of production inputs, low sale prices, and the heavy presence of intermediaries in the commercialization of their products (INEGI, 2022).

This study aimed to characterize small-scale cattle ranching and to identify the challenges it faces in the production and marketing of milk, cheese, and weaned calves in the communities of La Venta and Unión Hidalgo, located in the Isthmus of Tehuantepec, Oaxaca.

Methodology

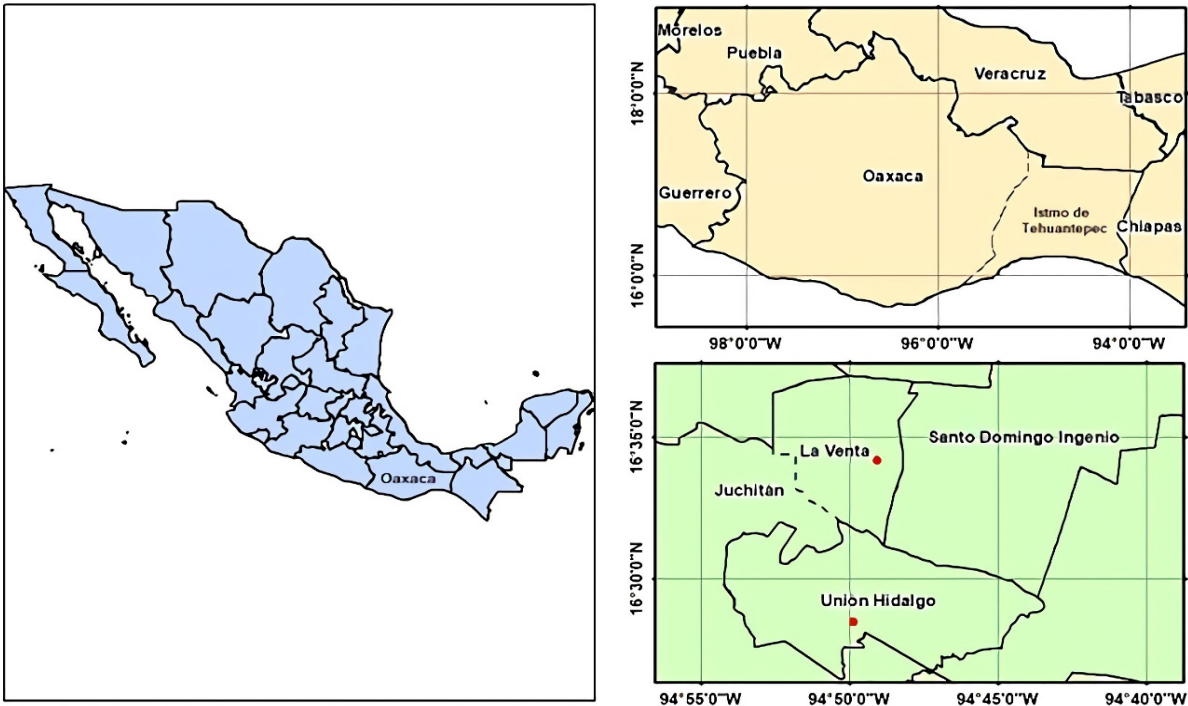
Study area

This study was conducted in the communities of La Venta and Unión Hidalgo, both located in the Isthmus of Tehuantepec region in the state of Oaxaca. In both communities, agricultural and livestock activities are

maximus; mientras que en los nativos se encuentran al *Paspalum fasciculatum*, *Paspalum plicatulum*, *Axonopus compressus* y el *Hymenachne amplexicaulis*. Lo anterior se combina con una mínima suplementación (principalmente con subproductos agroindustriales y esquilmos agrícolas) durante la época de estiaje (Enriquez et al., 2011; Magaña-Monforte et al., 2006). La región también cuenta con una amplia diversidad de especies arbóreas endémicas como es la *Gliricidia sepium* o la *Guazuma ulmifolia* que tienen un potencial multipropósito (leña, cercas vivas, sombra y forraje), y que muy pocos ganaderos las aprovechan como lo indican Bautista-Tolentino et al. (2011) para el estado de Veracruz.

El estado de Oaxaca ocupa el sexto lugar nacional en existencias de ganado bovino con 1 844 891 cabezas de ganado (SIAP, 2025). El Istmo de Tehuantepec destaca por su vocación ganadera con cerca de medio millón de cabezas de ganado (SIAP, 2020). Esta región contribuye con poco más de un cuarto de la producción de leche (26 %) y bovinos en pie (27 %) a nivel estatal (Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Pesca y Acuicultura [SEDAPA], 2016). En la región, el maíz y el sorgo son cereales comúnmente utilizados como complemento para la alimentación del ganado bovino. Sin embargo, la ganadería bovina del Istmo también se caracteriza por la falta de desarrollo de capacidades y escasa asistencia técnica; además, presenta bajos parámetros productivos y reproductivos (SEDAPA, 2016).

Uno de los principales problemas que enfrenta esta actividad ganadera son las sequías que se han presentado en la región en la última década, las cuales han ido de moderadas a extremas (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2022). Lo anterior, ha provocado la muerte de cientos de animales y pérdida de cultivos, afectando los ingresos de las familias ganaderas (López, 2020; López, 2024). Durante el periodo de 2012 a 2019, la producción de leche bovina en el Istmo se redujo en un 25 % (SIAP, 2020). En la actualidad, la ganadería bovina de pequeña escala enfrenta distintos riesgos, uno de ellos es el cambio climático con la presencia de sequías intensas e inundaciones. Estos fenómenos climáticos impactan de manera directa en la producción de forrajes, dispersión de plagas y enfermedades y en la exposición de los animales al calor o frío, por lo que las familias ganaderas tienen que estar estableciendo medidas de adaptación frente a estos fenómenos climáticos (Gallardo-Chávez et al., 2019). Además del impacto del cambio climático a nivel nacional, las productoras y productores agropecuarios reportan otras dificultades como son: los altos costos de los insumos para la producción y los precios bajos y alto intermediarismo con los que se comercializan sus productos (INEGI, 2022).



Source: Authors' elaboration based on data from the National Water Commission (2019).
Fuente: Elaboración propia con datos de la Comisión Nacional del Agua (2019).

Figure 1. Location of La Venta and Unión Hidalgo in the Isthmus of Tehuantepec, Oaxaca.
Figura 1. Ubicación de La Venta y Unión Hidalgo en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca.

among the main economic pursuits (Nahmad et al., 2014). Figure 1 shows the location of the study area. Notably, cattle ranching in the region takes place in the context of wind energy production, where cows, agricultural crops, and approximately 500 operational wind turbines share the same landscape (Vázquez & Zepeda, 2022).

Methodological approach

The field data collection strategy was grounded in a mixed-methods approach (qualitative and quantitative), structured around two key principles: sequencing and complementarity. The core of this methodology involved selecting an initial data collection method (either qualitative or quantitative), and then, through a sequential process, incorporating complementary approaches. This strategy allowed for feedback, triangulation, and ultimately supported the achievement of the study's objectives (Morgan, 1998).

Fieldwork was carried out from August 2018 to October 2021. The qualitative component included 31 interviews (17 men and 14 women), two investigative workshops with the participation of nine men and five women, and participant observation at seven cattle ranches.

El objetivo de este estudio fue caracterizar la ganadería bovina de pequeña escala e identificar los retos que enfrenta en la producción y comercialización de leche, queso y becerros al destete en las localidades de La Venta y Unión Hidalgo en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca.

Metodología

Área de estudio

Este trabajo se realizó en las localidades de La Venta y Unión Hidalgo, ambas pertenecientes a la región del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. En ambas localidades una de las principales actividades económicas son las agropecuarias (Nahmad et al., 2014). En la Figura 1, se observa la ubicación de la zona de estudio; cabe mencionar que la actividad ganadera bovina en la región se desarrolla en un contexto de producción de energía eólica, por lo que, vacas, cultivos agrícolas y cerca de 500 aerogeneradores en funcionamiento comparten el mismo espacio (Vázquez & Zepeda, 2022).

Enfoque metodológico

La estrategia metodológica para la obtención de información en campo se realizó con base en un enfoque

The quantitative component involved the use of a survey. The questionnaire was administered to a sample of 90 individuals engaged in cattle ranching (59 from La Venta and 31 from Unión Hidalgo). The sample was drawn from the beneficiary databases of two programs formerly administered by the Secretariat of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fisheries, and Food (SAGARPA), now the Secretariat of Agriculture and Rural Development (SADER): the Livestock Promotion Program (PROGAN) and the Direct Support Program for the Countryside (PROCAMPO). The questionnaire gathered information in the following sections: (1) Respondent characteristics; (2) Land access and use; (3) Characteristics, production, and commercialization of agricultural products; (4) Characteristics, production, and commercialization of livestock products (milk, cheese, and calves); and (5) Main challenges.

Information analysis

Qualitative data from interviews, participant observation (field reports), and workshops were audio-recorded, transcribed, and coded using the qualitative analysis software Atlas.ti®. This process facilitated the development of analytical categories and code families for analysis. Survey data were entered into Excel® and later analyzed in SPSS® using descriptive statistics.

Results and Discussion

Socioeconomic characteristics of the study population

In La Venta, 66.1 % of respondents were men and 33.9 % were women. In Unión Hidalgo, a similar trend was observed, with 80.6 % men and 19.4 % women. In La Venta, 91.5 % of participants spoke only Spanish, whereas in Unión Hidalgo, 96.8 % spoke both Spanish and Zapotec. In both communities, the average household size was four members.

Table 1 shows the average age and years of schooling of the women and men who participated in the survey in both communities. According to the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2015), livestock producers in Mexico have an average of five years of schooling. This contrasts with the findings of the present study, in which respondents reported an average of 8.6 years of education. Additionally, differences were observed between the two communities, with Unión Hidalgo showing higher average levels of schooling than La Venta.

In the study area, male heads of household are primarily engaged in small-scale cattle ranching, often com-

mixto (cualitativo y cuantitativo) a partir de dos aspectos clave: secuencia y complementariedad. La base fundamental de esta metodología fue seleccionar el enfoque inicial de recolección de información (cualitativo o cuantitativo) para posteriormente, en un proceso de secuencia, elegir enfoques complementarios que generaron retroalimentación, triangulación y ayudaron a alcanzar los objetivos del estudio (Morgan, 1998).

El trabajo de campo se realizó durante agosto de 2018 a octubre de 2021. El enfoque cualitativo consistió en la realización de 31 entrevistas (17 hombres y 14 mujeres); dos talleres investigativos con la participación de nueve hombres y cinco mujeres; y observación participante en siete ranchos ganaderos. Mientras en el enfoque cuantitativo se utilizó el método de la encuesta. El cuestionario se aplicó a una muestra de 90 personas que se dedican a la actividad ganadera bovina (59 y 31 personas de La Venta y Unión Hidalgo, respectivamente). La muestra se obtuvo de las bases de datos de beneficiarios de dos programas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) ahora Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER): El Programa Fomento Ganadero (PROGAN) y El Programa de Apoyos Directos al Campo (PROCAMPO). El cuestionario obtuvo información con las siguientes secciones: 1) Características de la persona encuestada, 2) Acceso y uso de la tierra, 3) Características, producción y comercialización de productos agrícolas, 4) Características, producción y comercialización de productos ganaderos (leche, queso y becerros) y 5) Principales problemáticas.

Análisis de la información

La información cualitativa derivada de las entrevistas, observación participante (reportes de campo) y talleres, se audiograbaron y posteriormente se transcribieron y codificaron mediante el programa de análisis cualitativo Atlas Ti®. Lo anterior, ayudó a generar categorías analíticas y familias de códigos para facilitar su análisis. En el caso de la encuesta, la información recabada se capturó en Excel® y, posteriormente, se utilizó el programa estadístico SSPS® para su análisis con estadística descriptiva.

Resultados y Discusión

Características socioeconómicas de la población de estudio

En La Venta, el 66.1 de las personas encuestadas fueron hombres y 33.9 % mujeres. Mientras que, en Unión Hidalgo, con una tendencia similar el 80.6 y 19.4 % fueron hombres y mujeres, respectivamente. En La Venta,

Table 1. Average age and years of schooling among the study population
Cuadro 1. Promedios de edad y escolaridad en la población de estudio.

Variable	La Venta		Unión Hidalgo	
	Women (n=20) / Mujeres (n=20)	Men (n=39) / Hombres (n=39)	Women (n=6) / Mujeres (n=6)	Men (n=25) / Hombres (n=25)
Age (years) / Edad (en años)	57.8 (±9.6)	64 (±13.2)	63 (±16.9)	67 (±11.4)
Schooling (years) / Escolarida (años)	7.7 (±5.4)	6.7 (±5.5)	11.0 (±6.2)	11.7 (±5.3)

Note: Table based on survey data. Standard deviation in parentheses. n = sample size.
Nota: Cuadro elaborado con información del cuestionario. En paréntesis la desviación estándar. n= población.

binning it with trades such as blacksmithing or carpentry. Female heads of household, in addition to managing domestic responsibilities, operate grocery stores and sell small livestock (poultry and pigs), prepared foods, and cheese. These combined responsibilities result in longer working hours for women compared to men—a pattern also reported in Aculco, State of Mexico (Vega-García et al., 2024). The study population also included retirees from Petróleos Mexicanos (PEMEX) and education professionals who also engage in cattle ranching.

Characteristics of the Production Unit

Table 2 shows that the average agricultural landholding in La Venta (5.7 ha) was larger than in Unión Hidalgo. However, Unión Hidalgo had greater areas of irrigated land (16.1 ha) and pastureland (20.6 ha). In both localities, production units did not exceed 22 hectares of land or 40 head of cattle, consistent with findings from a study in the Sierra Madre region of Chiapas, where producers reported average holdings of 29 hectares and 37 head of cattle (Apan Salcedo et al., 2022). In 75.5 % of the cattle ranches in the study population, the most common breed was a Zebu–Brown Swiss cross. This is comparable to a study conducted in central Chiapas, which found that 63 % of the cattle inventory consisted of Zebu–Brown Swiss crosses (Orantes et al., 2014).

On average, irrigated land accounts for more than half (63 %) of the total land area on the livestock farms in the study. This result is consistent with a study conducted in southern Morelos on cattle production units, which reported an average total area of 22 hectares, of which 14.1 hectares were irrigated (Cruz-Aguilar et al., 2021). However, despite having access to irrigation canals, water availability is limited due to hoarding and unequal distribution, which restricts both the amount and frequency of water supply. In the context of severe droughts, these limitations further aggravate water scarcity.

Production orientation

In La Venta, milk is primarily sold directly to local and regional cheesemakers. In Unión Hidalgo, artisanal

el 91.5 % habla solo español, mientras que, en Unión Hidalgo, además del español, el 96.8 % también habla lengua zapoteca. En ambas localidades el tamaño promedio de la familia fue de cuatro integrantes.

En el Cuadro 1 se observan los promedios de edad y escolaridad de las mujeres y hombres participantes en la encuesta de ambas localidades. De acuerdo con la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, 2015), la escolaridad a nivel nacional de productoras y productores ganaderos es de cinco años en promedio. Este resultado difiere con lo encontrado en este trabajo donde la escolaridad de las personas encuestadas alcanzó los 8.6 años de estudio en promedio. Asimismo, se observan diferencias entre las localidades, los datos muestran una mayor escolaridad en Unión Hidalgo que en La Venta.

En la zona de estudio los jefes de familia se dedican principalmente a la actividad ganadera bovina y algunos la combinan con oficios como la herrería o la carpintería. Las jefas de familia, además de las actividades del hogar, se dedican a atender tiendas de abarrotes, la venta de animales de menor tamaño (aves y cerdos), alimentos preparados y la venta de queso. Lo anterior, representa mayores tiempos de trabajo para las mujeres en comparación con los hombres, tal como se reportó en Aculco en el Estado de México (Vega-García et al., 2024). Dentro de la población de estudio, se entrevistaron a jubilados de Petróleos Mexicanos (PEMEX) y profesionistas de la educación que también se dedican a la actividad ganadera.

Características de la unidad de producción

En el Cuadro 2 se observa la superficie agrícola en La Venta (5.7 ha), que resultó mayor que la de Unión Hidalgo. Aunque en este último se tuvo mayor superficie con riego (16.1 ha) y de pastoreo (20.6 ha). En ambas localidades, las unidades de producción no superan las 22 ha de superficie de tierra y las 40 cabezas de ganado, lo que es similar con un estudio realizado en la Sierra Madre del estado de Chiapas donde se reportó 29 ha y 37 cabezas de ganado para un grupo

Table 2. Land use and herd size in the study area**Cuadro 2.** Uso de suelo y tamaño de hato en la zona de estudio.

Variable	La Venta (n= 59)	Unión Hidalgo (n= 31)
Total land area (ha) / Superficie de tierra total (ha)	20.0 (± 17.3)	21.6 (± 11.6)
Agricultural land (ha) / Superficie agrícola (ha)	5.7 (± 8.9)	1.0 (± 2.6)
Irrigated land (ha) Superficie de pastoreo (ha)	14.2 (± 11.1)	20.6 (± 11.1)
Irrigated land (ha) / Superficie con riego (ha)	10.6 (± 9.8)	16.1 (± 9.8)
Herd size (number of cattle) / Tamaño de hato (número de cabezas de ganado)	37.0 (± 31.4)	39.6 (± 30.0)

Note. Table based on survey data. Standard deviation in parentheses; n = sample size.

Nota. Cuadro elaborado con información del cuestionario. En paréntesis la desviación estándar, (n= población).

Table 3. Productive orientation of cattle ranches in the study area**Cuadro 3.** Orientación productiva de los ranchos ganaderos en la zona de estudio.

Productive orientation / Orientación productiva	La Venta (n=59)	Unión Hidalgo (n=31)
Only sell milk (%) / Solo venden la leche (%)	77.9	48.3
Only sell cheese (%) / Solo venden queso (%)	5.0	29.0
Sell both milk and cheese (%) / Venden leche y queso (%)	3.3	6.4
Only sell animals (%) / Solo venden animales (%)	11.9	16.1

Note: Table based on survey data. n = sample size.

Nota: Cuadro elaborado con información del cuestionario. n= población.

cheese production is more prevalent, with one-third of the sampled producers processing milk into cheese for local sale. In both marketing arrangements, weaned calves are also sold. Only a small number of producers engage in both milk and cheese sales, while the remainder focus exclusively on selling livestock (Table 3).

Family and hired labor on cattle ranches

In most cases (72.1 %), family members are involved in production unit activities, primarily male children and heads of household, who take responsibility for these tasks. More than half of the production units (52.5 %) employ at least one *caporal* (ranch hand), whose main duties include milking, watering the animals, delivering milk, and repairing fences. The average weekly wage for a *caporal* is MX\$1,302.00, and it is common for them to receive a calf annually as a bonus. Another type of worker hired by nearly all families is the temporary laborer (82.0 %), who is exclusively responsible for pasture maintenance. These workers are paid an average of MX\$202.00 per day and, unlike the *caporal*, do not receive an annual bonus.

Crop production and marketing

Cultivated area and agricultural yields

In La Venta, just over half of the study population (52.5 %) cultivates sorghum and maize. In contrast, a smaller

de productores (Apan Salcedo et al., 2022). En el 75.5 % de los ranchos ganaderos, de la población de estudio, la raza bovina con mayor presencia es la cruce de cebú con suizo. Este dato es similar con un estudio realizado en el Centro de Chiapas donde se reportó que el 63 % del inventario ganadero fue cebú con suizo (Orantes et al., 2014).

En general la superficie de riego en los ranchos ganaderos de estudio cubre, en promedio, más de la mitad (63 %) de la superficie total de tierra que tienen estos. Este resultado es similar con un estudio realizado en el sur de Morelos en unidades de producción ganadera bovina, que reportaron 22 ha de superficie total de las cuales 14.1 ha tienen riego (Cruz-Aguilar et al., 2021). Sin embargo, a pesar de tener el acceso a canales de riego, este se ve limitado por problemas de acaparamiento y distribución, lo que limita la cantidad y número de veces de suministro de agua, que, en un contexto de sequías intensas, agudiza la situación de escases de agua.

Orientación productiva

En La Venta, predomina la venta de la leche directa con queseros locales y regionales. En Unión Hidalgo, hay una mayor presencia de elaboración de queso artesanal, ya que un tercio de la muestra de productores en esa localidad transforma la leche en queso

Table 4. Average cultivated area and yields for sorghum and maize in both localities
Cuadro 4. Promedios de superficie sembrada y rendimientos de sorgo y maíz en ambas localidades.

	Sorghum / Sorgo		Maize / Maíz	
	Cultivated area (ha) / Superficie sembrada (ha)	Yield per ha (tons) / Rendimiento por ha (tonelada)	Cultivated area (ha) /Superficie sembrada (ha)	Yield per ha (tons) / Rendimiento por ha (tonelada)
La Venta (n=31)	11.1 (±11.5)	1.9 (±1.0)	4.7 (±2.7)	1.2 (±0.9)
Unión Hidalgo (n=9)	18.5 (±19.5)	1.8 (±0.8)	4.4 (±1.9)	1.6 (±1.7)

Note: Table based on survey data. Standard deviation in parentheses; n = sample size.
Nota: Cuadro elaborado con información del cuestionario. n= población.

proportion of producers in Unión Hidalgo (29.0 %) grow these crops. Many have stopped planting due to the severe droughts that have impacted the region in recent years. Sorghum and maize are primarily grown on rainfed land, as irrigated areas are allocated for cattle grazing. Table 4 presents the average cultivated area and crop yields reported by producers who engaged in these agricultural activities.

According to SAGARPA—now known as SADER—the expected sorghum yield for the Isthmus region is around three tons per hectare (SAGARPA, 2017). In the study area, yields are about 30 % lower, which may be due to various factors such as pest infestations or drought. In the case of maize, producers cultivate the *zapalote chico* variety, which is native to the region. The maize yields reported in this study (Table 4) fall below the range reported by Cabrera-Toledo et al. (2015), who found yields between 1.7 and 2.9 tons per hectare.

Destination of agricultural production

In La Venta, most of the sorghum harvest (72.3 %) is sold to intermediaries, while the rest is used as cattle feed. In Unión Hidalgo, nearly the entire sorghum crop (99 %) is sold. The average selling price of sorghum in the region is MX\$3,100.00 per ton. Although sorghum cultivation represents an important source of income for livestock-raising families, producers noted that the dominance of intermediaries in the marketing chain captures most of the economic gains. As for maize, in La Venta, 81.4 % of the harvest is used for animal feed, 14.8 % for human consumption, and only a small portion (3.7 %) is sold. In Unión Hidalgo, the distribution is slightly different: 71.4 % is used as animal feed, 26.5 % is sold, and just 2 % is for human consumption. The portion consumed by humans is reflected in traditional foods such as totopos, memelas, and tortillas, which are prepared by local women (Vázquez et al., 2020).

para su posterior comercialización a nivel local. En los esquemas previamente mencionados, también se realiza la venta de becerros al destete. Solo un pequeño número de casos realiza ambas actividades (venden leche y queso) y el resto se dedica solo a la venta de animales (Cuadro 3).

Fuerza de trabajo familiar y contratada en los ranchos ganaderos

En la mayoría de los casos (72.1 %) se tiene la participación de integrantes de la familia en las actividades de la unidad de producción, principalmente: hijos varones y jefes de familia que se hacen cargo de estas actividades. En más de la mitad de las unidades de producción (52.5 %), se tiene contratado por lo menos un caporal, quien tiene como principales actividades la ordeña, dar agua a los animales, entregar la leche y arreglar los cercos. El pago promedio del caporal es de MX\$ 1 302.00 pesos a la semana y es común que se le entregue un becerro al año como bonificación. Otro tipo de trabajador que contratan casi todas las familias son los temporales (82.0 %). Ellos se encargan exclusivamente del mantenimiento de los potreros; se les paga en promedio MX\$ 202.00 pesos al día y no obtienen una bonificación anual como el caporal.

Producción y comercialización de cultivos agrícolas

Superficie sembrada y rendimiento de la producción agrícola.

En La Venta, la mitad de la población en estudio (52.5 %) siembra sorgo y maíz. Mientras que, en Unión Hidalgo, una menor cantidad de productores (29.0 %) siembra estos cultivos. Las personas han dejado de sembrar por las fuertes sequías que han impactado a la región en los últimos años. Los cultivos agrícolas como el sorgo y el maíz se siembran principalmente en terrenos de temporal, ya que las zonas de riego son destinadas para el pastoreo del ganado bovino. En el Cuadro 4

Cattle Feeding and Health

Feeding

The primary cattle feeding strategy is extensive grazing, with supplemental feeding during the dry season. The most common improved forage species are insurgente grass (*Urochloa brizantha*) (35.7 %), estrella grass (*Cynodon nlemfuensis*) (33.9 %), and pangola grass (*Digitaria decumbens*) (33.9 %). *Urochloa brizantha* is widely dominant in the Isthmus region (López-Santiago et al., 2021). However, an introduced species known locally as *zacate coalición* or *pasto blanco* (*Dichanthium annulatum*) is present on 71.1 % of cattle ranches and has displaced improved grasses in many areas. The average area covered by *zacate coalición* is 9.1 hectares, compared to 6.2 hectares for improved grasses. Producers also reported the presence of native grasses, such as *guixi beu'* (Zapotec name), which is highly valued as excellent forage for milk production. Other native species include *camalote* (*Paspalum fasciculatum*) and *zacate colorado* (*Heteropogon contortus*); however, these native grasses are generally regarded as noxious weeds and are often eliminated from grazing areas.

During the dry season—when pasture is scarce—52.1 % and 42.7 % of producers supplement their cattle's diet with sorghum by-products (stover, grain, and bales) and by leasing grazing land from other ranches, respectively. On average, producers lease 5.2 hectares in La Venta and 4.2 hectares in Unión Hidalgo during this period. Additional feeding alternatives include maize by-products (stover and cobs) (16.2 %) and commercial feed (9.2 %).

With respect to forest resources, eight producers in Unión Hidalgo reported using certain tree species to supplement cattle feed. However, their primary function is to provide shade. The most common trees found on cattle ranches are guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), guamúchil (*Pithecellobium dulce*), caulote (*Guazuma ulmifolia*), and mesquite (*Prosopis leavigata*). These findings point to an opportunity to make better use of local tree resources and move toward a silvopastoral approach to livestock production.

Animal Health

All respondents reported implementing vaccination and deworming protocols for their herds. However, both calf and adult animal mortality were also reported. In 66.6 % of herds, an average of three calf deaths occurred in 2018. The leading reported cause was dystocia (51.1 %), while 25.5 % of respondents were unaware of the cause. Other reported causes included

se observan los promedios de superficie sembrada y rendimientos de cada cultivo de productoras y productores que realizaron estas actividades.

De acuerdo con la SAGARPA ahora SADER, el rendimiento del sorgo debe estar alrededor de las tres toneladas por hectárea para la región del Istmo (SAGARPA, 2017). En la zona de estudio se observa un 30 % menos de rendimiento, lo cual puede deberse a distintos factores como son las afectaciones por plagas o la sequía. En el caso del maíz, se siembra la variedad de zapalote chico, el cual es nativo de la región. El rendimiento de maíz zapalote que se presenta en este estudio (Cuadro 4) está por debajo de lo mencionado por Cabrera-Toledo et al. (2015) que reportó un rango de entre 1.7 y 2.9 toneladas por ha.

Destino de la producción agrícola.

En La Venta, la mayor parte del sorgo se comercializa con intermediarios (72.3 %) y lo que resta se destina para la alimentación del ganado bovino. Mientras que, en Unión Hidalgo se vende prácticamente en su totalidad (99 %). El precio de comercialización del sorgo en la zona tiene un promedio de MX\$ 3 100.00 pesos la tonelada. El cultivo del sorgo representa un ingreso económico importante para las familias ganaderas; sin embargo, los productores mencionaron que el alto intermediarismo en la comercialización del sorgo se lleva los mayores beneficios económicos. En el caso del maíz, en La Venta el 81.4 % de la cosecha se destina para la alimentación animal, un 14.8 % se utiliza para consumo humano y una muy pequeña parte se vende (3.7 %). En Unión Hidalgo, se observa una tendencia un poco diferente: el 71.4 % de la cosecha se destina para la alimentación animal, el 26.5 % para la venta y una muy pequeña parte para consumo humano (2 %). Lo que se destina para consumo humano se ve reflejado en productos como totopos, memelas y tortillas, que son elaborados por mujeres de la región (Vázquez et al., 2020).

Alimentación y salud del ganado bovino

Alimentación

La principal forma de alimentación del ganado bovino es con base al pastoreo extensivo con suplementación durante la época de secas. Los pastos mejorados con mayor presencia son el insurgente (*Urochloa brizantha*) (35.7 %), estrella (*Cynodon nlemfuensis*) (33.9 %) y pangola (*Digitaria decumbens*) (33.9 %). El pasto insurgente tiene una amplia predominancia en la región del Istmo (López-Santiago et al., 2021). Sin embargo, hay un pasto introducido que llaman *zacate coalición* o *pasto blanco* (*Dichanthium annulatum*) que

snake bites, plant poisoning, umbilical infections, diarrhea, and feed shortages (16.9 %).

Regarding adult cattle, 43.3 % of producers reported an average of two adult deaths per herd in 2018. The main causes included *dystocia* (45.0 %) and injuries during mating—a condition described by producers as “the bull injuring the cows during mounting,” attributed to the bull’s size (30 %). In 20 % of cases, the cause of death was unknown. Overall, the study area recorded a mortality rate of 7.6 animals (calves and adults) per 100 head of cattle from all causes.

Livestock Product Production and Marketing

Milk

Most cattle producers in La Venta (86.2 %) and Unión Hidalgo (83.7 %) engage in milking as part of their livestock operations. As shown in Table 5, daily milk production per cow drops by two to three liters during the dry season, representing up to a 30 % decrease in total output. The data also show that milk yields are higher in La Venta than in Unión Hidalgo. This difference is attributed to greater agricultural capacity in La Venta—evident in better infrastructure and equipment—superior cattle breeds, and more reliable access to water.

Regarding milk sales, during the dry season the price per liter reaches MX\$5.80, while in the rainy season it drops to MX\$4.60 (prices reported for 2018–2020). This is similar to the price reported in the Sierra Madre region of Chiapas, which stood at MX\$5.00 per liter in 2022 (Apan-Salcedo et al., 2022). Milk sales can generate approximately MX\$2,000.00 per week for livestock-farming families; however, producers generally perceive this price as low. Overall, 85.4 % of livestock-raising households sell their milk primarily to regional cheese makers from the municipalities of La Ventosa, Ixtepec, and Niltpec. The average annual income from milk sales is approximately MX\$200,000.00

Cheese

In Unión Hidalgo, three out of ten livestock-farming households produce and sell cheese, compared to one in ten in La Venta. For these families, selling cheese is more profitable than selling raw milk directly. Cheese production has become an important source of income for small- and medium-scale milk producers, particularly given the low profitability of milk sales resulting from rising production input costs (Villegas de Gante et al., 2014).

In the study area, different types of cheese are produced, with queso fresco (fresh cheese) and aged

tiene presencia en el 71.1 % de los ranchos ganaderos y ha desplazado a los pastos mejorados. Se reportan superficies promedio de 9.1 y 6.2 ha de zacate coalición y pastos mejorados, respectivamente. Asimismo, se reportaron pastos nativos, tal es el caso del guixi beu’ (nombre en zapoteco) que los productores aprecian por considerarlo excelente forraje para la producción de leche. Otros pastos nativos fueron el camalote (*Paspalum fasciculatum*), el zacate colorado (*Heteropogon contortus*); sin embargo, estos pastos nativos son considerados generalmente como maleza nociva, por lo que en los ranchos ganaderos tienden a eliminarlos.

Para la época seca, temporada en la que escasea el pasto, el 52.1 y 42.7 % de la población de estudio complementa y combina la alimentación de sus animales con productos derivados del sorgo (rastrojo, grano, pacas) y la renta de pastizales a otros ranchos ganaderos, respectivamente. En La Venta y Unión Hidalgo, las personas encuestadas rentan en promedio 5.2 y 4.2 ha de pastizales en esta época, respectivamente. En general, otras alternativas que se utilizan son: productos derivados del maíz (rastrojo y mazorca) (16.2 %) y alimento balanceado (9.2 %).

Con respecto a los recursos forestales presentes, ocho personas en Unión Hidalgo reportaron que aprovechan algunos árboles para la alimentación animal. La principal función de los árboles es proveer sombra. Los principales árboles que se encuentran al interior de los ranchos ganaderos son: guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), guamúchil (*Pithecellobium dulce*), caulote (*Guazuma ulmifolia*) y el mezquite (*Prosopis leavigata*). Lo anterior abre un área de oportunidad para el aprovechamiento de estos recursos arbóreos locales y transitar a una ganadería con un enfoque silvopastoril.

Salud animal

El 100 % de la población de estudio reportó que en todos los hatos ganaderos llevan a cabo esquemas de vacunación y desparasitación. Sin embargo, también se reportó tanto muerte de becerros como de animales adultos. Es así como en el 66.6 % de los hatos ganaderos se reportó en promedio tres becerros muertos al año durante el 2018. El 51.1 % de los casos mencionó que la causa fue por “mal de parto” y un 25.5 % desconoce la causa. Otras causas que se mencionaron fueron por picadura de culebra, intoxicación por plantas, infección en el ombligo, diarrea y, por la falta de alimento (16.9 %).

En el caso de los animales adultos, el 43.3 % de las productoras y productores reportaron un promedio de dos animales adultos muertos al año en el 2018.

Table 5. Average number of milking cows and milk production by season**Cuadro 5.** Promedios de vacas en ordeña y litros de leche producidos por época del año

	Milk per cow per day (dry season) / Litros de leche por vaca al día (seca)	Milk per cow per day (rainy season) / Litros de leche por vaca al día (lluvia)	Milking cows per year (n) / Vacas en ordeña durante el año (n)	Annual milk production (liters) / Litros de leche producidos al año
La Venta	6.2 (±1.8)	9.0 (±2.5)	14.1 (±9.6)	40,546.43 (±35,645.46)
Unión Hidalgo	4.7 (±1.8)	6.7 (±2.3)	12.4 (±7.6)	26,811.73 (±19,291.99)

Note: Table based on survey data. Standard deviations in parentheses.

Nota. Cuadro elaborado con información del cuestionario. (En paréntesis la desviación estándar).

cheese being the most common. The average daily income from cheese sales is approximately MX\$300.00. The type of cheese produced varies by season. For instance, five families reported producing aged cheese. Women manage this resource: during the rainy season, when milk production is higher, they allocate part of the milk to making fresh cheese and another portion to producing aged cheese. The latter functions as a form of savings for the dry season when milk production declines. In one case from Unión Hidalgo, a family had 24 aged cheeses of various sizes, priced between MX\$500.00 and MX\$1,000.00 each, intended for sale during the dry season.

Calves

Income from calf sales among these families averages approximately MX\$50,000.00 per year. Each household sells about six calves annually, at an average price of MX\$5,770.00 per animal. Calf sales represent a significant source of income during the dry season, when milk production drops and some families stop milking altogether. In this context, selling calves also serves as a form of savings for livestock-farming households.

Main Challenges Facing Small-Scale Livestock Farming in the Isthmus of Tehuantepec

According to survey data, the two main challenges faced by livestock producers are low prices and limited market access for their products (85.6 %), and drought (60 %). Marketing difficulties make production units unprofitable and unsustainable. The occurrence of severe droughts further undermines the viability of these operations: 75.6 % of respondents perceive that droughts have become increasingly intense. This perception is not unique to the study area but reflects a broader regional trend (Cruz-Hernández et al., 2018). These findings are consistent with a study conducted on the coast of Guerrero, where drought was identified as the main threat to livestock farming

Las principales causas de muerte fueron: el “mal de parto” (45.0 %), “el semental quiebra a las vacas”, el cual es un problema al momento de la monta derivado del tamaño del semental (30 %) y un 20 % no sabe la causa de las muertes. En general, en la zona de estudio hay una tasa de mortalidad de 7.6 animales muertos (becerros y adultos), por todas las causas, por cada 100 animales.

Producción y comercialización de los productos pecuarios

Leche

La mayoría de los productores de La Venta (86.2 %) y Unión Hidalgo (83.7 %) realizan la actividad de la ordeña en sus hatos ganaderos. En el Cuadro 5 se observa que la producción de leche por vaca al día es afectada por la época de secas; se reduce entre dos y tres litros, lo que representa hasta un 30 % menos en la producción de leche. También se identifica que hay mayores rendimientos en los hatos ganaderos de La Venta que en Unión Hidalgo. Lo anterior se debe a que en La Venta se tienen hatos ganaderos con mayor capacidad agrícola (con infraestructura y equipo), mejores razas de ganado y mayor acceso al agua.

Con respecto a la venta de leche, en temporada de secas el litro de leche se vende en MX\$ 5.8 pesos, mientras en época de lluvia el precio baja a MX\$ 4.6 pesos (precios reportados en 2018-2020). Este precio es similar con lo reportado en la Sierra Madre de Chiapas que fue de cinco pesos el litro en 2022 (Apan-Salcedo et al., 2022). La venta de leche puede representar ingresos de aproximadamente 2 000 pesos a la semana para la familia ganadera; sin embargo, los productores perciben este precio como bajo. En general el 85.4 % de las familias ganaderas comercializa la leche principalmente con queseros a nivel regional procedentes de los municipios de La Ventosa, Ixtepec y Niltpec. El ingreso promedio por la venta de la leche es de MX\$ 200 mil pesos al año.

(Gallardo-Chávez et al., 2019). More than half of respondents (55.0 %) attribute this situation to climate change—more specifically, to deforestation in the region. Drought reduces pasture productivity and limits water availability for livestock, negatively affecting animal health. In May 2024, the deaths of 500 cows were reported due to the severe droughts that continue to affect the region (López, 2024).

Conclusions

Cattle farming in the study area is characterized by production units that do not exceed 22 hectares of land or 40 head of cattle. In this region, more land is allocated to grazing than to crop cultivation. Overall, more than half of the surveyed population no longer engages in agricultural activities, primarily due to the increasing severity of droughts. In milk production, drought can reduce yields by as much as one-third compared to the rainy season.

In grazing areas, the introduction of improved forage grasses (*Urochloa brizantha*, *Cynodon nlemfuensis*, *Digitaria decumbens*, and *Dichanthium annulatum*) has displaced native species such as *Paspalum fasciculatum* and *Heteropogon contortus*. During the dry season, the main feeding strategies include the use of sorghum by-products and the rental of pastureland. Local trees are also utilized—primarily for shade, and only rarely as a source of livestock feed.

The primary productive orientation of livestock farms is the sale of milk to local and regional cheese producers. However, some families produce and sell artisanal cheese in local markets. For many livestock households, cheese-making functions as a subsistence strategy, allowing them to manage cheese production and sales throughout the year based on seasonal conditions. The sale of calves also serves as a form of savings and an alternative income source during the dry season, when milk yields decline and some families stop milking altogether.

The two main challenges faced by livestock producers in the study area are low prices and limited market access for their products, as well as the increasing severity of droughts. In this context, several opportunities have been identified, such as the use of local resources like the native grass *guixi beu'* and the incorporation of local tree species to support a transition toward silvopastoral systems. Additionally, strengthening producer organizations based on the principles of a solidarity economy could help add value to their products, improve marketing channels, and promote a more equitable distribution of benefits. In a context marked by climate change and the lack of

Queso

En Unión Hidalgo, tres de cada 10 familias ganaderas elaboran y venden queso; en La Venta es una por cada 10. Para las familias ganaderas la venta del queso les representa mayor ganancia en comparación con la venta directa de leche bronca. La venta de queso constituye un ingreso económico importante para pequeños y medianos productores de leche ante la baja rentabilidad de su actividad, originada por el incremento en los precios de los insumos para la producción (Villegas de Gante et al., 2014).

En la zona de estudio se elaboran distintos tipos de queso entre los que destacan el queso fresco y el seco. El ingreso diario promedio por la venta de queso es de alrededor MX\$ 300.00 pesos. La elaboración de los tipos de queso depende de la época del año. Tal es el caso de cinco familias que comercializan el queso seco. Las mujeres administran este recurso: en la época de lluvia, cuando hay una mayor producción de leche, destinan una parte para la elaboración de queso fresco y otra parte para queso seco, este último, funciona como un ahorro para la época de seca, momento cuando hay una menor producción de leche. En un caso en Unión Hidalgo se tenían 24 quesos secos de diferentes tamaños con un rango de precios de entre los MX\$ 500 a MX\$ 1 000 pesos para su venta en la época seca.

Becerras

El ingreso por la venta de becerros en estas familias es de alrededor de \$MX 50 mil pesos al año, en promedio cada familia comercializa seis becerros al año con un precio de venta de \$MX 5 770.00 pesos cada uno. La venta de becerros es un ingreso importante para el hogar en la época de seca, que es cuando se produce poca leche y que algunas familias no ordeñan, las ventas de estos animales funcionan como un ahorro.

Principales problemáticas de la ganadería de pequeña escala en el Istmo de Tehuantepec

De acuerdo con datos de la encuesta, los dos principales problemas que enfrentan las productoras y productores son: bajo precio y falta de mercado de sus productos pecuarios (85.6 %) y la sequía (60 %). Los problemas de comercialización hacen que las unidades de producción no sean rentables y sustentables. La presencia de sequías intensas agudiza la subsistencia de las unidades de producción, y es que el 75.6 % de la población de estudio percibe que las sequías se han vuelto cada vez más intensas. La percepción de la presencia de la sequía no solo es exclusiva de la zona de estudio, sino que tiene un alcance a nivel regional (Cruz-Hernández et al., 2018). Esto concuerda con un

fair markets, it is essential to design public policies that foster effective adaptation strategies to support the subsistence and sustainability of small-scale cattle farming.

End of English version

References / Referencias

- Apan-Salcedo, G. W., Nahed-Toral, J., Pérez-Luna, E., Piñeiro-Vázquez, Á., & Jiménez-Ferrer, G. (2022). Nivel de adopción de técnicas silvopastoriles en la Sierra Madre de Chiapas, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25, 1–15. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/4001/1800>
- Bautista-Tolentino, M., López-Ortiz, S., Pérez-Hernández, P., Vargas-Mendoza, M., Gallardo-López, F., & Gómez-Merino, F. C. (2011). Sistemas agro y silvopastoriles en la comunidad el limón, municipio de paso de ovejas, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(1), 63–76. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/440/445>
- Cabrera-Toledo, J. M., Carballo-Carballo, A., & Aragón-Cuevas, F. (2015). Evaluación agronómica de maíces raza Zapalote chico en la región Istmeña de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i11.775>
- CONAGUA (2019). Sistema de Información Geográfica de Acuíferos y Cuencas (SIGACUA). <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/sistema-de-informacion-geografica-de-acuiferos-y-cuencas-sigacua>
- CONAGUA. (2022). Monitor de sequía. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>
- Cruz-Aguilar, R., Cruz-León, A., Uribe-Gómez, M., Ramírez-Valverde, B., Cuevas-Reyes, V., & Fernández-Rebollo, P. (2021). Socioeconomic analysis of peasant production units of the traditional silvopastoral system in the Sierra de Huautla Biosphere Reserve of Morelos. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 1(1). 3–17. <http://dx.doi.org/10.5154/r. rchsat.2021.01.01>
- Cruz-Hernández, S., Torres-Carral, G., & Martínez-Hernández, A. (2018). Percepción del cambio climático entre la población en el Pacífico Sur Mexicano. En E. Velázquez Cigarroa y O. Castro Martínez. (coords.). *Educación Ambiental y Sustentabilidad. Aportaciones Multidisciplinarias para el Desarrollo* (pp. 333–351). Universidad Autónoma Chapingo.
- Enriquez, Q. J. F., Meléndez, N. F., Bolaños, A. E. D., & Esqueda, E. V. A. (2011). Producción y manejo de forrajes tropicales. INIFAP
- FAO. (2015). Evaluación de resultados 2013. <https://www.fao.org/mexico/programas-y-proyectos/evaluacion-y-analisis-de-politicas-publicas/es/>
- Gallardo-Chávez, A., Vargas-López, S., Bustamante-González, Á., Nahed-Toral, J., Ramírez-Briebesca, E., & Casiano-Ventura, M.

estudio realizado en la costa de Guerrero, donde la sequía es la principal amenaza para la actividad ganadera (Gallardo-Chávez et al., 2019). En más de la mitad de la población de estudio (55.0 %) esta situación se la atribuyen a la presencia del cambio climático y más específico a la deforestación que ha habido en la zona. La sequía afecta el rendimiento de las áreas de pastoreo y el acceso al agua para los animales, lo que afecta a su salud. En mayo de 2024 se reportó la muerte de quinientas vacas debido a las fuertes sequías que siguen impactando a la región (López, 2024).

Conclusiones

Se concluye, que la ganadería bovina de la zona de estudio se caracteriza por no superar las 22 hectáreas de superficie de tierra y las 40 cabezas de ganado bovino. En la región se destina una mayor superficie para áreas de pastoreo en comparación con superficies dedicadas a la agricultura. En general, más de la mitad de la población de estudio ya no se dedica a actividades agrícolas debido a la presencia de las sequías intensas. En la producción de leche el impacto de la sequía llega a ser de hasta un tercio menos en comparación con la época de lluvias.

En las zonas de pastoreo, la introducción de pastos mejorados (*Urochloa brizantha*, *Cynodon nlemfuensis*, *Digitaria decumbens* y *Dichantium annulatum*) ha desplazado a los forrajes naturales (*Paspalum fasciculatum* y *Heteropogon contortus*). Para la época seca, las principales estrategias para la alimentación de los animales es el ofrecimiento de derivados del sorgo y la renta de superficies de tierra con pastizales. En la zona de estudio también se aprovechan árboles locales principalmente para la obtención de sombra; muy pocos las utilizan para la alimentación animal.

La principal orientación productiva de los ranchos ganaderos es la comercialización de la leche a queseros locales y regionales. Sin embargo, hay familias, que elaboran y venden queso artesanal en los mercados locales. Para muchas familias el queso funciona como estrategia para la subsistencia de la familia ganadera al administrar, con base en la época del año, la elaboración y venta de los distintos tipos de queso. La venta de becerros también funciona como otra alternativa de ahorro frente a la baja producción de leche en la época de seca cuando algunas familias incluso dejan de ordeñar.

Las dos principales problemáticas que enfrenta la población de estudio son los bajos precios y falta de mercado de sus productos pecuarios, así como la presencia de sequías intensas. En este contexto se identificaron áreas de oportunidad como es el apro-

- (2019). Riesgos climáticos y modos de vida de las familias productoras de ganado bovino en la costa chica, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22, 169–178. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hernández, A., Domínguez, B., Cervantes, P., & Barrientos, M. (2018). Ganadería familiar en México y cambio climático. En A. Hernández y J. Salazar. (Eds.). *La ganadería familiar en México. Un enfoque de sustentabilidad* (pp. 71–120). CEDRSSA.
- INEGI. (2022). Censo Agropecuario 2022. <https://www.inegi.org.mx/programas/ca/2022/>
- López, A. (2020). Crisis ganadera en el Istmo por sequía: suman 52 reses muertas. *El Universal*. <https://oaxaca.eluniversal.com.mx/municipios/18-02-2020/crisis-ganadera-en-el-istmo-por-sequia-suman-52-reses-muertas>
- López, A. (2024). Tras muerte de 500 reses, ganaderos se declaran en “emergencia” por ola de calor y sequía en Oaxaca. *El Universal* <https://www.eluniversal.com.mx/estados/tras-muerte-de-500-reses-ganaderos-se-declaran-en-emergencia-por-ola-de-calor-y-sequia-en-oaxaca/>
- López-Santiago, N., Villegas-Aparicio, Y., Carrillo-Rodríguez, J. C., Castañeda-Hidalgo, E., Lozano-Trejo, S., & Martínez Gutiérrez, A. (2021). Assessment of natural resources in beef cattle production units, case: Guivicia Santa María Petapa, Oaxaca. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 1(1), 65–76. <http://dx.doi.org/10.5154/rchsat.2021.01.05>
- Magaña-Monforte, J. G., Ríos, A. G., & Martínez-González, J. C. (2006). Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.*, 14(3), 105–114. <https://www.researchgate.net/publication/28128771>
- Mora, H., Berdon, V., & Ramos, É. (2018). La ganadería familiar y el agroturismo en México. En A. Hernández y J. Salazar. (Eds.). *La ganadería familiar en México* (pp. 121–165). CEDRSSA.
- Morgan, D. (1998). Practical Strategies for Combining Qualitative and Quantitative Methods: Applications to Health Research. *Qualitative Health Research*, 8 (3), 362–76. <https://doi.org/10.1177/104973239800800307>
- Nahmad, S., Nahón A., & Langlé, R. (2014). La visión de los actores sociales frente a los proyectos eólicos del Istmo de Tehuantepec. CIESAS.
- Orantes-Zebadúa, M. Á., Platas-Rosado, D., Córdova-Avalos, V., De los Santos-Lara, M. C., & Córdova-Ávalos, A. (2014). Caracterización de la ganadería de doble propósito en una región de Chiapas, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1(1), 49–58. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282014000100006&lng=es&tlng=es
- SAGARPA. (2017). Planeación agrícola nacional 2017-2030. Apartado sorgo mexicano. <https://sursureste.org.mx/estudios/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-apartado-aguacate-mexicano-2/>
- Salazar, J., & Noriega, E. (2018). Marco de referencia. En A. Hernández & J. Salazar. (Eds.). *La ganadería familiar en México. Un enfoque de sustentabilidad* (pp. 17–22). CEDRSSA.
- SEDAPA. (2016). Plan Estratégico Sectorial Desarrollo Rural Subsector
- vechamiento de recursos locales, el caso del pasto nativo guixi beu’ y el uso de arbóreas locales para la transición a sistemas ganaderos con un enfoque silvopastoril. Así también, se deben promover formas de organización entre las productoras y productores con base en una economía solidaria en busca de darle valor agregado y tener mejores canales de comercialización para sus productos, además de generar equidad en los beneficios. En un contexto de cambio climático y la falta de un mercado justo, es necesario diseñar políticas públicas que busquen estrategias de adaptación eficaces para la subsistencia de la ganadería bovina de pequeña escala.

Fin de la versión en español

Pecuario. Subsector Pecuario 2016-2022. http://www.coplade.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2017/11/8.3_pecuario.pdf

SIAP. (2025). Población ganadera. https://nube.siap.gob.mx/poblacion_ganadera/

SIAP. (2024). Panorama Agroalimentario 2018-2024. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035>

SIAP. (2020). Anuario estadístico de la producción ganadera. Leche Bovino. https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/

Vázquez, G. V., & Zepeda, C. R. M. (2022). Lo que el viento no se llevó. El papel de los ganaderos en la promoción de la industria eólica en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. *Sociedad y Ambiente*, (25), 1-25. <https://doi.org/10.31840/sya.vi25.2587>

Vázquez, G. V., Martínez, R. S. N., Antonia, P. O. M., & Rueda, A. J. C. (2020). Género, soberanía alimentaria y maíz en el Istmo de Tehuantepec, México. *La Manzana de La Discordia*, 15(1), 121–144. <https://doi.org/10.25100/lamanzanadeladiscordia.v15i1.8692>

Vega-García, J., Iturbe-González, A., & Martínez-García, C. (2024). Participación de las mujeres en la toma de decisiones en sistemas lecheros familiares. *Revista Investigium IRE: Ciencias Sociales y Humanas*, 15(1), 96–112. <https://doi.org/10.15658/INVESTIGIUMIRE.241501.06>

Villagómez, J. A., & Del Ángel-Pérez, A. (2018). Ganadería y agricultura familiar en Maéxico. En A. Hernández y J. Salazar. (Eds.). *La ganadería familiar en México. Un enfoque de sustentabilidad* (pp. 23–70). CEDRSSA.

Villegas de Gante, A., Cervantes Escoto, F., Cesín Vargas, A., Espinoza, Ortega, A., Hernández Montes, A., Santos Moreno, A., & Martínez Campos, Á. R. (2014). Atlas de los quesos mexicanos genuinos. Colegio de Postgraduados.



EN

Description of a New Isolated River Channel Wetland in Colombia

ES

Descripción de un nuevo humedal cauce aislado de río en Colombia

Luis Antonio González Escobar*

Universidad del Valle. Univalle-Unicepes-Unicesar. Calle 13 núm. 100-00, Cali, Colombia.

***Corresponding author:**

luis.antonio.gonzalez@

correounivalle.edu.co

ORCID ID: 0000-0003-3000-7708

Received: December 4, 2024

Accepted: May 25, 2025

Published online: August 4, 2025

Abstract

Isolated River Channel Wetlands represent critical ecosystems for biodiversity and the provision of environmental services, yet their conservation is increasingly threatened by different productive activities. This study aims to assess the impact of such activities on a newly identified wetland in Colombia, with the objective of promoting its conservation and sustainable use. Additionally, it seeks to support the goals of environmental education in fostering an understanding of biodiversity loss in these ecosystems and encouraging the adoption of sustainable practices. The methodological approach is grounded in General Systems Theory, addressing the issue from an environmental sciences perspective. Through data collection, direct observation of the ecosystem, and analysis of the sustainable management efforts led by environmental authorities, specific indicators tailored to the wetland's context are applied to evaluate its ecological condition and degree of degradation. The results highlight a comprehensive systematic review of the topic, an inventory of species, and the identification of productive activities that have altered the wetland's ecological dynamics, negatively impacting its biodiversity and self-regulatory capacity. However, opportunities for implementing restoration and sustainable management strategies—supported by sound public policy—were also identified.

In conclusion, the research underscores the need to strengthen environmental education and conservation strategies within these ecosystems, promoting actions that balance productive development with biodiversity protection and the long-term sustainability of the wetland.

Keywords: Convention on Biological Diversity, environmental education, wetland, ecological integrity.

Resumen

Los humedales tipo cauce aislado de río representan ecosistemas importantes para la biodiversidad y los servicios ambientales, pero su conservación es amenazada por diversas actividades productivas. El estudio tiene como objetivo principal evaluar el impacto de estas actividades sobre un nuevo humedal en Colombia, con el propósito de promover su conservación y uso sostenible. Además, busca reforzar los propósitos de la educación ambiental en la comprensión de la pérdida de biodiversidad en estos ecosistemas y en la aplicación de prácticas sostenibles. El enfoque metodológico se basa en la teoría general de sistemas, abordando la problemática desde las ciencias ambientales. A través de la recolección de datos, la observación directa del ecosistema y el análisis de la gestión sostenible que han venido realizando las autoridades ambientales, se emplean indicadores específicos adaptados al contexto del humedal para evaluar sus condiciones ecológicas y grado de deterioro. Los resultados evidencian una pertinente revisión sistemática

del tema, el inventario de las especies, la identificación de las actividades productivas que han generado cambios en la dinámica ecológica del humedal, afectando su biodiversidad y capacidad de autorregulación. Sin embargo, se identifican oportunidades para implementar estrategias de restauración y manejo sostenible, respaldadas por políticas públicas adecuadas. En conclusión, la investigación resalta la necesidad de fortalecer la educación ambiental y las estrategias de conservación en estos ecosistemas, promoviendo acciones que equilibren el desarrollo productivo con la protección de la biodiversidad y la sostenibilidad del humedal.

Palabras clave: Convención de la biodiversidad, educación ambiental, humedal, integridad ecológica.

Introduction

This paper presents the findings of research on the description of a newly identified isolated river channel wetland in the geographic valley basin of the Cauca River in Colombia, within the framework of the Convention on Biological Diversity. Although these types of wetlands are often less recognized, they play a crucial role in biodiversity conservation and the provision of ecosystem services. Therefore, they should be considered in environmental management plans aimed at their protection and sustainable use, with the implementation of specific conservation strategies.

These isolated river channel wetlands as biogeographic units and ecological corridors are characterized by their former open connection to river systems and their gradual transformation into lentic water bodies. In these environments, biotic and abiotic components interact, maintaining the flow of matter and energy between aquatic and terrestrial ecosystems, which allows them to achieve a degree of self-stability and relatively autonomous ecological dynamics.

Using the “fractal of isolated wetlands” in the Cauca River Basin as a reference biogeographic unit and ecological corridor, this analysis is grounded in environmental sciences, General Systems Theory, and scientific complementarity to better understand the environmental challenges facing these wetlands. The primary ecosystem services provided by these wetlands include water supply for livestock and agriculture, extraction of fishery and forest resources, birdwatching, recreation, landscape appreciation, waterborne transportation, ecotourism, and the trade of wildlife species. These services are utilized by local people, fishers, visitors, academic institutions, and stakeholders from different sectors.

As part of the national environmental policy, initiatives have focused on acknowledging isolated wetlands as cultural heritage and addressing human-induced disturbances that compromise their ecological integrity. The status of these wetlands is evaluated using eco-

Introducción

Este escrito presenta los hallazgos de la investigación sobre la descripción de un nuevo humedal cauce aislado de río en la cuenca del valle geográfico del río Cauca, en Colombia en el contexto de la Convención de la Biodiversidad. Aunque estos humedales suelen ser menos reconocidos, desempeñan un papel esencial en la conservación de la biodiversidad y en la provisión de servicios ecosistémicos, por eso deben ser considerados en los planes de gestión ambiental para la protección y manejo sostenible, proponiendo estrategias concretas para su conservación.

Estos humedales tipo cauce aislado de río, como unidades biogeográficas y corredores ecológicos, se caracterizan por su conexión libre con los ríos y su evolución hacia cuerpos de agua lenticos. En estos ambientes, interactúan componentes bióticos y abióticos, manteniéndose flujos de materia y energía entre los ecosistemas acuáticos y terrestres, lo que les permite alcanzar una autoestabilidad y dinámica relativamente autónomas.

Tomando como referencia el “fractal de humedales aislados” de la cuenca del río Cauca como unidad biogeográfica y corredor ecológico, este análisis se fundamenta en las ciencias ambientales, la teoría general de sistemas y la complementariedad científica para entender la problemática ambiental de estos humedales. Los principales servicios ecosistémicos proporcionados por estos humedales incluyen el abastecimiento de agua para ganadería y agricultura, la extracción de recursos pesqueros y forestales, el avistamiento de aves, la recreación, la contemplación del paisaje, el transporte acuático, el ecoturismo y el comercio de fauna silvestre. Estos servicios son utilizados por habitantes locales, pescadores, visitantes, academias e instituciones de diferentes sectores.

En el marco de la política ambiental del país, se han abordado aspectos como reconocer la importancia de los humedales aislados como patrimonio cultural y las perturbaciones antrópicas que afectan su integridad

logical indicators to identify similarities and prioritize the severity of ecosystem degradation.

The study also defines the condition of the wetlands as influenced by environmental management plans implemented by environmental and municipal authorities. These plans must go beyond simple cleaning of water bodies to establish strategic pillars for environmental governance and to strengthen local community management mechanisms.

The research has revealed the need to enhance environmental management of this type of wetland and recommends the development of a systematic inventory across geographic valleys and natural hydrological fractals, due to the reduction of occupied areas and the lack of comprehensive records. Environmental indicators can aid in understanding biophysical alterations and comparing the ecological integrity of wetlands, thereby facilitating their integration into environmental policies and management processes.

Finally, the study raises the question: How can the description of the isolated river wetland “La Negra Orejona” contribute to a comprehensive understanding of the impacts of productive activities from an integrated perspective to support its conservation?

The theoretical foundation of this research is related to the management and conservation of isolated river channel wetlands (IRCWs) in Colombia and other countries that form part of the fractals along the riparian edges of major river valleys. These ecosystems require an integrated and transdisciplinary approach that encompasses ecological, social, economic, political, civic, and legal aspects. IRCWs are known by different names in various countries, including *madreviejas*, *resacas*, *galachos-brazo muerto*, *Oxbow lakes*, *meandros abandonados*, and *lagos de cauce*.

The proposed theoretical and methodological framework is based on several approaches related to landscape ecology, a perspective that enables the identification and characterization of wetlands within the territorial mosaic, assessing their connectivity and the effects of fragmentation on ecosystems (Burel & Baudry, 2001; Hilty et al., 2006). A key foundation for understanding how these ecosystems and local communities can adapt to disturbances such as climate change and anthropogenic pressures is the theory of social-ecological resilience (Berkes & Seixas, 2005; Folke, 2003; Calvente, 2007). Medina and Miranda (2021) propose that active methodologies in community restoration programs should be implemented in four phases: environmental contextualization, environmental diagnosis, group formation, and restoration activities aimed

ecológica. Se evalúa el estado de los humedales mediante indicadores ecológicos para establecer similitudes y jerarquizar el deterioro de estos ecosistemas.

También la investigación define el estado de los humedales condicionado por los planes de manejo ambiental implementados por las autoridades ambientales y municipales, que deben ir más allá de la simple limpieza de los espejos de agua, para constituir los ejes estratégicos para la gestión ambiental y fortalecer los mecanismos locales de gestión comunitaria.

La investigación ha revelado la necesidad de fortalecer la gestión ambiental de este tipo de humedales y se recomienda la realización de un inventario sistematizado en los valles geográficos y fractales hídricos naturales, debido a la reducción de sus áreas ocupadas y la falta de registros. Los indicadores ambientales pueden ayudar a comprender las alteraciones biofísicas y a comparar la integridad ecológica de los humedales, para integrarlos en políticas y procesos de gestión ambiental.

Finalmente, la investigación plantea la pregunta: ¿De qué manera la descripción del humedal aislado del río “La Negra Orejona” puede contribuir a la comprensión de los impactos de las actividades productivas desde una perspectiva integral para su conservación?

El fundamento teórico de esta investigación se relaciona con el manejo y conservación de los humedales tipo cauce aislados de río (HTCAR) en Colombia, y en otros países que conforman los fractales al borde ribereño de los valles de los grandes ríos, requieren de un enfoque integral y transdisciplinar que contemple aspectos ecológicos, sociales, económicos, políticos, cívicos y legales. Los HTCAR son conocidos en diferentes países como *madreviejas*, *resacas*, *galachos-brazo muerto*, *Oxbow like*, *meandros abandonados*, y *lagos de cauce*.

El marco teórico y metodológico propuesto se fundamenta en varios enfoques relacionados con la ecología del paisaje, una perspectiva que permite identificar y caracterizar los humedales dentro del mosaico territorial, evaluando su conectividad y los efectos de la fragmentación sobre los ecosistemas (Burel & Baudry, 2001; Hilty et al., 2006). Una base esencial para comprender cómo estos ecosistemas y las comunidades locales pueden adaptarse a perturbaciones, cómo el cambio climático y la presión antrópica, es tener en cuenta la teoría de la resiliencia socioecológica (Berkes & Seixas, 2005; Folke, 2003; Calvente, 2007). Medina & Miranda (2021), en la que se plantean que la metodología activa en los programas de restauración comunitaria debe implementarse en cuatro fases que

at conserving local biodiversity through environmental education strategies.

Quijano (2022) and Marull (2005), argue that descriptive and exploratory research is strengthened by a theoretical-practical approach that incorporates reflective teaching, enabling findings that extend beyond isolated data to be applied and understood within real and specific contexts. These theories facilitate the analysis of the theoretical-methodological contributions of resilience in productive activities and support the design of a comprehensive and flexible analytical framework aimed at qualitatively assessing resilience in local communities facing environmental challenges.

Based on Environmental Governance theory (Ostrom, 1990), the research emphasizes the importance of participatory and inclusive management, where local communities play a central role in decision-making processes. According to González (2019), it is essential to recognize the value of wetlands not only for their biodiversity and societal benefits but also for the need for international organizations, environmental authorities, and universities to conduct research and inventories of isolated river channel wetlands (IRCWs). This will facilitate the conservation of these ecological corridors, given their diverse functions and significance for the livelihoods of riverine communities.

Based on the ideas of Martínez (2020) and Brañes (2000), it is essential to consider the principles and perspectives of environmental justice to ensure that interventions are equitable and respect the rights of vulnerable communities. According to Putnam (1993), in his theory of social capital, the effectiveness of conservation initiatives stems from the promotion of cooperation within community networks for collective action, grounded in their rights. Therefore, environmental law theory and regulatory frameworks serve to strengthen the development of effective environmental policies and their impact on wetland management (Ministerio del Medio Ambiente (MMA, 2002); Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2012).

These theoretical frameworks provide a foundation for understanding the challenges faced by isolated river wetlands, particularly in contexts where environmental authorities fail to support local processes or ensure regulatory compliance. They address the ecological, socioeconomic, and legal dimensions necessary to guarantee environmental justice for vulnerable communities. By integrating these approaches into practice, management and conservation strategies can be developed that are effective, equitable, and sustainable in the long term.

integran la contextualización ambiental, el diagnóstico ambiental, la formación del grupo y las actividades de restauración para conservar la biodiversidad local a través de las estrategias de programas en educación ambiental.

Quijano (2022) y Marull (2005), plantean cómo la investigación descriptiva y exploratoria se fortalece con un enfoque teórico-práctico que incorpore la enseñanza reflexiva para lograr hallazgos más allá de los datos aislados para ser aplicados y comprendidos en contextos reales y específicos. Estas teorías permiten analizar los aportes teórico-metodológicos de la resiliencia en las actividades productivas y diseñar un marco analítico, integral y flexible, con el propósito de estimar la resiliencia de manera cualitativa en las comunidades locales frente a sus problemas ambientales.

Con base en la teoría de la Gobernanza Ambiental (Ostrom, 1990), valora la importancia de una gestión participativa e inclusiva, en la que las comunidades locales jueguen un papel central en la toma de decisiones. Según González (2019), es relevante reconocer el valor de los humedales no solo por su biodiversidad y los beneficios que brindan a la sociedad, sino también por la necesidad de que organizaciones internacionales, autoridades ambientales y universidades, realicen investigaciones e inventarios de los HTCAR. Esto permitirá considerar la conservación de estos corredores ecológicos debido a su diversidad de funciones y su importancia para el sustento de las comunidades ribereñas.

Basado en las ideas de Martínez (2020) y Brañes (2000), es vital considerar los aspectos y perspectivas de la justicia ambiental para asegurar que las intervenciones sean equitativas y respeten los derechos de las comunidades vulnerables. Según Putnam (1993), en su teoría del capital social, la efectividad de las iniciativas de conservación se genera a partir del fomento de la cooperación en redes comunitarias para la acción colectiva, fundamentada en sus derechos. Por lo tanto, la teoría del derecho ambiental y los marcos normativos permiten fortalecer el desarrollo de políticas ambientales efectivas y su impacto en la gestión de los humedales (Ministerio del Medio Ambiente (MMA, 2002); Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2012).

Estos marcos teóricos proporcionan una comprensión sobre la problemática de los humedales aislados de río, especialmente cuando las autoridades ambientales no acompañan los procesos, ni garantizan el cumplimiento normativo, abordando los aspectos ecológicos, socioeconómicos y legales que aseguren

Methodological Approach

The study area and topographic survey of IRCW under study were conducted in the geographic valley of the Cauca River, at elevations between 920 and 960 meters above sea level, with annual temperatures ranging from 24 to 30 °C, from 2021 to 2023. The isolated river channel wetlands (IRCWs) in this region remain flooded for most of the year and form a vital biogeographic unit with a fractal structure, which contributes to the partial recovery of their hydrological buffer zone and maintains a water regulation basin connected to the river system. In the valley, the Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) has identified 72 wetlands covering approximately 4 000 hectares, using laser pulse-emitting technology known as Imaging Detection and Ranging (LiDAR), with remote sensors to acquire detailed topographic data from the Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y Desarrollo Sostenible de Colombia (Asocard) and Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, (Asocard y CVC), 2015; CVC, 2009; CVC, 2002); González et al., 2014).

These data support descriptive studies related to Environmental Management Plans (EMPs) developed by Regional Autonomous Corporations (CARs), universities, and non-governmental organizations (NGOs). They also support the execution of physicochemical analyses of water and the development of natural inventories among colleagues, in herbaria and zoological collections.

An analysis of ecosystem services was conducted in the isolated river channel wetland known as “La Negra Orejona.” The process began with the identification and characterization of the site, prioritizing its quality through direct observation, photographic documentation, and the categorization framework established by the Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005). Prioritization was carried out using a weighting equation based on the following variables: condition (E), trend of change in the service (T), and degree of knowledge about the service (G). The prioritization equation used was: $P = 0,35 * E + 0,45 * T + 0,2 * G$ with results ranging from 5 (high priority) to 1 (lowest priority).

The concept of ecological integrity (Leopold, 1949) was considered to assess the site's value through the ecological rating formula: $Ce = Pr * (a * De * Ma) + (b * Du)$ (Salazar, 1991; Saavedra et al., 2018). The coefficients a and b are subjective weighting factors determined by specialists and community leaders, with values of 0.7 and 0.3, respectively. The ecological rating ranges from 1 (Very Low) to 10 (Very High). The variables De, Du, Ce, and Pr should be described here.

la justicia ambiental para las comunidades vulnerables. Al integrar estos enfoques de manera práctica, se desarrollarán estrategias de manejo y conservación que sean efectivas, equitativas y sostenibles a largo plazo.

Enfoque metodológico

El área de estudio y el levantamiento topográfico del HTCAR objeto de estudio, se realizaron en el valle geográfico del río Cauca, a elevaciones entre 920 y 960 msnm, con temperaturas anuales de 24-30 °C, entre el año 2021 y 2023. Los humedales de cauce aislado de río (HTCAR) en esta región permanecen inundados casi todo el año y forman una unidad biogeográfica vital de tipo fractal, lo que permite recuperar parte de su ronda hídrica y mantener un vaso de regulación de aguas con el río. En el valle, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) ha identificado 72 humedales que cubren aproximadamente 4 000 hectáreas, utilizando tecnología que emite pulsos de láser llamada Imaging Detection and Ranging (LiDAR), con sensores remotos para obtener datos topográficos obtenidos de la Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible de Colombia (Asocard) y Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, (Asocard y CVC), 2015; CVC, 2009; CVC, 2002); González et al., 2014).

Estos datos sirven de base para estudios descriptivos relacionados con los planes de manejo ambiental (PMA) elaborados por corporaciones autónomas regionales (CAR), universidades y organizaciones no gubernamentales (ONG), así como para la realización de los análisis físicoquímicos del agua, inventarios naturales confrontados entre colegas, en herbarios y colecciones animales.

Se realizó el análisis de los servicios ambientales, en el humedal cauce aislado de río en “La Negra Orejona”, el cual se inició con la identificación y caracterización, priorizando su calidad a través de la observación directa, registro fotográfico, y la categorización empleada por el Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005). La priorización se llevó a cabo utilizando una ecuación de ponderación basada en las variables de estado (E), tendencia de cambio del servicio (T), y grado de conocimiento de mismo (G). (Ecuación de Priorización: $P = 0,35 * E + 0,45 * T + 0,2 * G$). El resultado varía entre 5 (prioritario) y 1 (menor valor).

Se consideró el concepto de integridad ecológica (Leopold, 1949), para realizar su valoración a partir de la fórmula de calificación ecológica: $Ce = Pr * (a * De * Ma) + (b * Du)$ (Salazar, 1991; Saavedra et al., 2018). Los coeficientes a y b son factores de ponderación subjetivos obtenidos de especialistas y líderes comunitarios, con



a: Undivided river meander in the shape of two lobes. / Meandro de río en forma de dos orejas no cortado.

b: Cutoff of the river bend by the Cauca River. / Corte de recorrido que hace el Río Cauca.

c: New river course, abandoning the former channel. / Nuevo cauce de río abandonando el cauce antiguo.

Nota: Fuente propia: (Google Earth 2019- Fotografía 2022-Fotografía 2023).
Source: Compiled by the author (Google Earth 2019- Image 2022-Image 2023).

Figure 1. Formation of the Isolated River Channel Wetland “La Negra Orejona”.
Figura 1. Formación del humedal cauce aislado de río “La Negra Orejona”.

The topographic survey of the HTCAR under study was conducted through photointerpretation of satellite imagery, using tools such as Google Earth and ArcGIS 10.5. A total of 45 HTCARS were georeferenced along a length of 150 kilometers, and the wetland “La Negra Orejona,” located in Yotocó, Valle del Cauca, was identified as part of a riparian ecological corridor. This wetland covers an area of 50 hectares, of which 23 hectares correspond to water mirror, currently at risk of disappearing due to sedimentation and encroachment by shrubs. The elevation ranges from 934 meters above sea level at the southern entrance, descending to 931 meters at the first section, rising to 936 meters at the center, and returning to 934 meters at the northern exit. Its geographic coordinates are 3° 59' 29" S and 76° 19' 03" W (Figure 1).

Levels of Study and Methodological Strategy

A systematic literature review was conducted, identifying 150 relevant documents, including articles, theses, and books, selected from six academic databases. This review provided a solid foundation for identifying literature related to the valuation of HTCAR and the productive activities that impact these ecosystems. Subsequently, a meta-analysis was performed, reducing the sample to 15 articles based on the criteria proposed by Collin (2007), as cited by García (2016). A matrix was constructed using a Likert scale. Statistical analysis included the Kolmogorov-Smirnov test for normality and a non-parametric mean comparison test.

The empirical methodology was based on a multidimensional naturalistic perspective. Data collection

valores de 0.7 y 0.3, respectivamente. La calificación varía entre 1 (Muy Bajo) y 10 (Muy Alto). De, Du Ce y Pr se deben describir aquí.

El levantamiento topográfico del HTCAR objeto de estudio se realizó mediante fotointerpretación de imágenes satelitales, utilizando herramientas como Google Earth y ArcGIS 10.5. Se georreferenciaron 45 HTCAR, longitud 150 kilómetros, y se ubicó el humedal “La Negra Orejona”, en Yotocó, Valle del Cauca, como parte de un corredor ecológico ribereño. Este humedal ocupa 50 hectáreas, de las cuales 23 corresponden a espejo de agua, que está en riesgo de desaparecer debido a sedimentación y ocupación por matorrales. Se encuentra a una altura de 934 msnm en la entrada sur, descendiendo a 931 msnm en la primera oreja, 936 msnm en el centro y 934 msnm en la salida norte. Sus coordenadas son 3° 59' 29" S y 76° 19' 03" W (Figura 1).

Niveles de estudio y estrategia metodológica

Se realizó una revisión sistemática de la literatura, que identificó 150 documentos relevantes entre artículos, tesis y libros, seleccionados de seis bases de datos. Esta revisión proporcionó una base sólida para identificar la bibliografía relacionada con la valoración de los HTCAR y las actividades productivas que afectan estos humedales. Posteriormente, se realizó un metaanálisis, reduciendo la muestra a 15 artículos mediante los criterios propuestos por Collin, 2007 citado por García, 2016, construyendo una matriz con base en la escala de Likert. El análisis estadístico incluyó la prueba de normalidad de Kolmogórov-Smirnov y la prueba no paramétrica de análisis de medias.

included quantitative observations of the current state of the HTCAR and qualitative techniques such as open-ended interviews with community members. The research adopted an idiographic approach, integrating the community's conceptions, perceptions, and experiences to enable a subjective and interactive interpretation of the issue.

The epistemological framework is grounded in general systems theory and complexity theory, which allowed for the identification of components and their interrelationships in the territory. The study employed the "Visual Basin" criterion proposed by Raimondo (2007) to address environmental issues. The structure of the research includes:

Regarding the selection of the wetland under study, anthropogenic disturbances affecting its ecological integrity were observed during site visits. Productive activities were identified, including sugarcane cultivation, livestock farming, mining, recreation, fishing, wastewater discharge, irrigation, dikes, infrastructure works, environmental management plans, public access, and the influence of road networks.

For the analysis and interpretation, an environmental assessment of the wetland was conducted, comparing it with previous studies. Qualitative indicators, such as the water mirror, were used to evaluate the impacts on the wetland. The integrated analysis included photographic records, which served to contextualize meanings and analyze intersubjective relationships. The observational strategy was developed across three interrelated levels: intuitive, contextual, and relational.

Results

Meta-analysis of the state of the HTCAR

The literature review conducted on a particular topic, as systematically proposed by Rendón et al. (2024), structures the search and analysis of studies using databases to ensure a well-founded review, serving as an important first step in defining the critical state of the art for a research project.

According to the criteria established in the guide by Collín (2007), as cited by García (2016), the selected references exceeded the minimum threshold of 75 % on the Likert scale, with most reaching or surpassing 80 %. This indicates high reliability in the statistical data obtained. The probability plot allows for measuring the agreement between the data distribution and a specific theoretical distribution, using the non-parametric Kolmogorov-Smirnov test. This test revealed a p-value

La metodología empírica se basó en una perspectiva naturalista multidimensional. La recolección de datos incluyó observaciones cuantitativas del estado actual del HTCAR y técnicas cualitativas, como entrevistas abiertas con miembros de la comunidad. La investigación adoptó un enfoque idiográfico, considerando las concepciones, percepciones y experiencias de la comunidad para una interpretación subjetiva e interactiva de la problemática.

El enfoque epistemológico se fundamenta en la teoría general de sistemas y la complejidad, permitiendo identificar los componentes y sus relaciones en el territorio. Se adoptó el criterio de "Cuenca Visual" propuesto por Raimondo (2007) para abordar problemas ambientales. La estructura de la investigación incluye:

Respecto a la determinación del humedal objeto de estudio, se observaron las perturbaciones antrópicas que afectan la integridad ecológica del humedal durante las visitas. Se identificaron actividades productivas como la siembra de caña, la ganadería, la minería, la recreación, la pesca, los vertimientos, el riego, los diques, las obras de infraestructura, los planes de manejo ambiental, el acceso público y la influencia de carreteras.

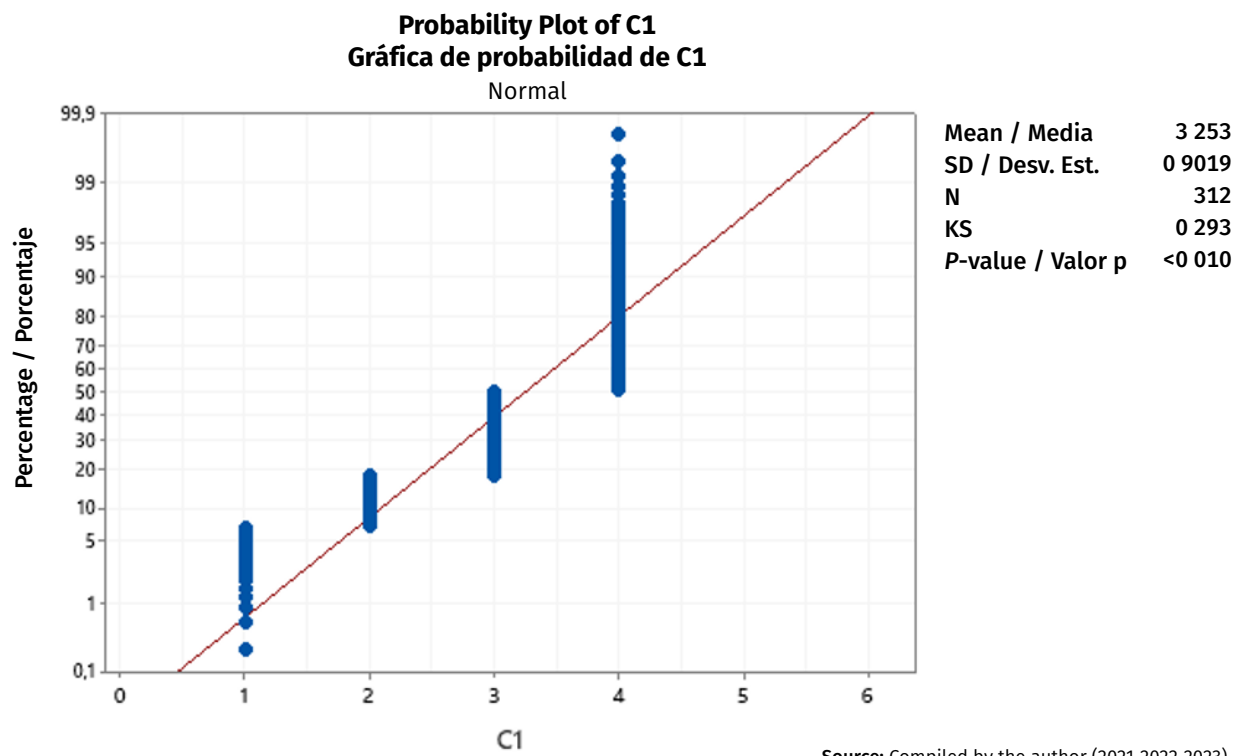
Para el análisis y la interpretación se elaboró un diagnóstico ambiental del humedal, comparándolo con estudios previos. Se utilizaron indicadores cualitativos, como el espejo de agua, para valorar los efectos sobre el humedal. El análisis integrado incluyó registros fotográficos, contextualizando los significados y analizando las relaciones intersubjetivas. La estrategia operativa en las observaciones se desarrolló en tres niveles interrelacionados: intuitivo, contextual y relacional.

Resultados

Metaanálisis del estado de los HTCAR

La revisión de literatura realizada sobre un tema en particular como lo plantea Rendón et al. (2024) de manera sistemática, estructura la búsqueda y análisis de estudios con bases de datos, que aseguren una revisión fundamentada, como un primer paso importante en la definición del estado de arte crítico de una investigación.

Según los criterios establecidos en la guía de Collín (2007), citado por García (2016), los referentes seleccionados superaron el umbral mínimo del 75 % en la escala de Likert, y la mayoría alcanzó o superó el 80 %. Esto indica una alta confiabilidad en los datos estadísticos obtenidos. La gráfica de probabilidad permite medir la concordancia entre la distribución de



Source: Compiled by the author (2021-2022-2023).
Fuente: Elaboración propia (2021-2022-2023).

Figure 2. Application of the Probability Test.
Figura 2. Aplicación de la Prueba de Probabilidad.

of 0.010, which is less than 0.05, suggesting that the data do not follow a normal distribution (Figure 2).

Since the data do not conform to a normal distribution, the alternative hypothesis was selected. The non-parametric analysis of means (ANOM) test, which assesses the equality of means, showed that the data fall within the decision limits, confirming the relevance and reliability of the evaluation (Figure 3). The application of the Poisson distribution is justified by the results obtained.

Formation of a Wetland Type: Isolated River Channel Wetland (HTCAR)

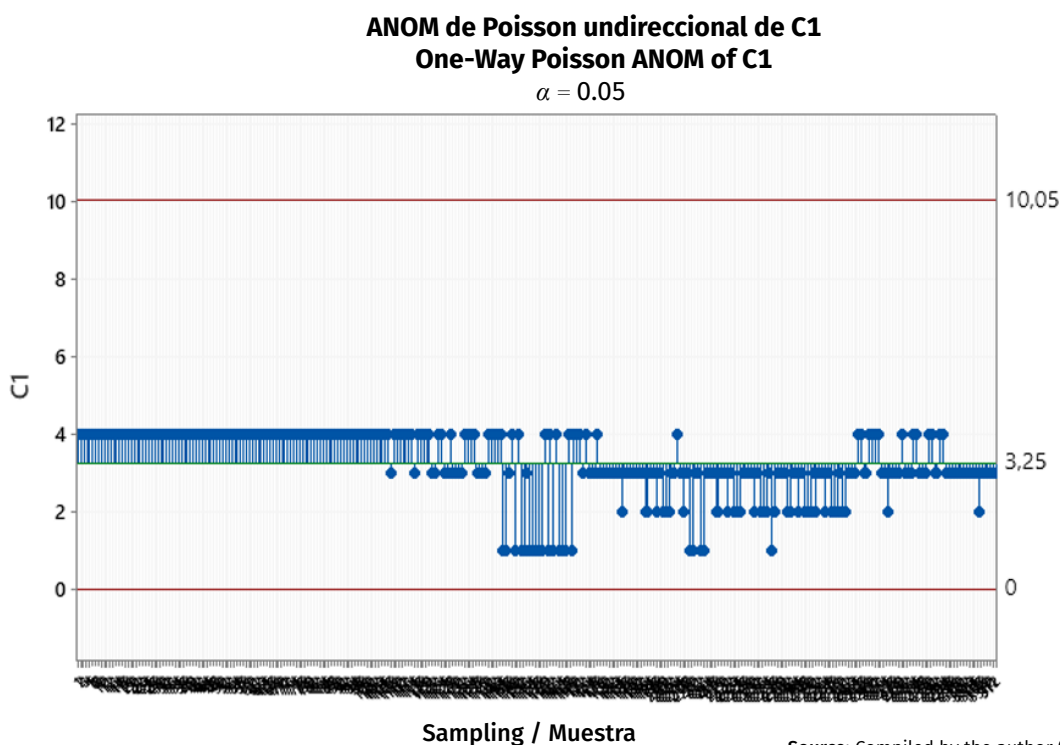
According to Einstein (1926), the formation of river meanders is due to a combination of phenomena such as the Earth’s rotation, the Coriolis effect, and the helical flow caused by higher water velocity on the outer bends and slower flow on the inner bends. A combination of fluid mechanics and observations of geological processes shapes the geographic valley systems of rivers in Colombia, creating meanders and forming lagoons and oxbow lakes as the river erodes and deposits sediments. Isolated meanders represent unique ecosystems within river valleys, characterized by fractal formation patterns that constitute ecological corridors.

datos y una distribución teórica específica, utilizando la prueba no paramétrica Kolmogórov-Smirnov. Esta prueba reveló un valor de p de 0.010, menor a 0.05, sugiriendo que los datos no siguen una distribución normal (Figura 2).

Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal, se optó por la hipótesis alternativa. La prueba no paramétrica de análisis de medias (Anom), que evalúa la igualdad de las medias, mostró que los datos están dentro de los límites de decisión, confirmando la pertinencia y confiabilidad de la evaluación (Figura 3). La aplicación de la distribución Poisson se justifica por los resultados obtenidos.

Formación de un humedal tipo cauce aislado de río (HTCAR)

Según Einsten (1926), la formación de meandros de río se debe a una variación de fenómenos como el de la rotación de la tierra, el efecto de Coriolis y el flujo helicoidal ocasionado por la velocidad del agua mayor en las partes externas de las curvas y lenta en las partes internas. Una combinación entre la mecánica de fluidos con observaciones de procesos geológicos, configuran el sistema de valles geográficos de los ríos en Colombia, creando sinuosidades y formando lagunas y madre viejas a medida que el río



Source: Compiled by the author (2021-2022-2023).
 Fuente: Elaboración propia (2021-2022-2023).

Figure 3. Relevance and Reliability of the Evaluation
Figura 3. Pertinencia y confiabilidad de la evaluación.

A notable example is the Cauca River, where oxbow lakes such as Guarinó (February 1976) and Playa Amarilla (2013); Higuerón (February 1962) and La Negra Orejona (December 2010) have experienced changes in shape and location over the years, progressing at different rates toward infilling. These modifications reflect the dynamics of fluvial migration, which depend on geomorphological and ecological factors, as well as public management by local authorities responsible for decision-making and policy implementation. Such policies, based on principles of participation, transparency, and sustainability, impact various areas of governance, including the economy, security, and education (Figure 4).

The shape of HTCARS can take on specific configurations, such as a U-shape or a sinuous form, depending on the proximity of the meander's ends. These changes in the river's course result in the formation of oxbow lakes due to erosion and sediment deposition (González, 2019). "La Negra Orejona," oxbow lake for example, has shown a process of infilling and morphological modification over time, highlighting fluvial dynamics and the formation of abandoned meanders.

Characterization of the wetland in relation to productive activities

Between 2020 and 2023, field observations indicated that the La Negra Orejona wetland became discon-

erosiona y deposita sedimentos. Los meandros aislados representan ecosistemas únicos en los valles de los ríos, caracterizados por la formación de fractales, cuyos patrones conforman corredores ecológicos.

Un ejemplo notable es en el río Cauca, en donde las madrevejas como, Guarinó (febrero 1976) y Playa amarilla (2013); Higuerón (febrero 1962) y La Negra Orejona (diciembre 2010) han experimentado cambios en su forma y ubicación a lo largo de los años, a diferentes velocidades hacia la colmatación. Estas modificaciones reflejan la dinámica de la migración fluvial, que depende de factores geomorfológicos y ecológicos, así como de la gestión pública por parte de las autoridades locales, quienes son responsables de la toma de decisiones e implementación de políticas. Dichas políticas, basadas en principios de participación, transparencia y sostenibilidad, afectan diversas áreas de gobierno, incluyendo la economía, seguridad, y educación (Figura 4).

La forma de los HTCAR puede adoptar configuraciones específicas, como la forma de U o una forma serpentina, dependiendo de la proximidad de los extremos del meandro. Estos cambios en el curso del río resultan en la formación de madrevejas debido a la erosión y deposición de sedimentos (González, 2019). La madreveja "La Negra Orejona", por ejemplo, ha mostrado un proceso de colmatación y modificación a



a: Abandoned meander Guarinó (upper) and oxbow lake Playa Amarilla (lower). / Meandro abandonado Guarinó margen superior y madreveja playa amarilla inferior

b: Abandoned meander Higuerón. / Meandro abandonado Higuerón.

c: Newly abandoned river course La Negra Orejona. / Nuevo cauce abandonando de río La Negra Orejona.

Source: Compiled by the author using Google Earth (Left – Guarinó, upper margin, and Playa Amarilla, lower margin, 2010; Center – Higuerón oxbow lake, 1962; Right – La Negra Orejona oxbow lake, 2023).

Fuente: propia de Google Earth, (Izquierda-Guarinó margen superior y playa amarilla, margen inferior, 2010; media-madreveja Higuerón, 1962. Derecha madreveja La Negra Orejona 2023).

Figure 4. Formation and Evolution of Isolated River Channel Wetlands.
Figura 4. Formación y evolución de los humedales cauces aislados de río.

nected from the river on its northern side. It is now primarily sustained by groundwater inflow, precipitation, and a consistently high-water table. On average, the water table remains at a depth of 30 cm, suggesting strong radial hydraulic conductivity and a gradient influenced by river pressure.

The microclimate of the area is influenced by precipitation, relative humidity, temperature, and other meteorological factors, with temperatures ranging between 24 and 32 °C and an average annual rainfall of approximately 2 000 mm. Physicochemical analyses of the water indicate negative impacts, primarily due to agricultural expansion and wastewater discharges, resulting in low dissolved oxygen concentrations and high concentration of contaminants.

Vegetation and Fauna of the Wetland

The wetland's vegetation includes hydrophilic species such as *Eichhornia crassipes* (water hyacinth), *Pistia stratiotes* (water lettuce), *Lemna minor* (common duckweed) and *Nymphaea alba* (white waterlily). In dry periods, low shrublands predominate, such as *Mimosa pigra* (black mimosa), while in the arboreal relics along the water course there are species such as *Erythrina fusca* (coral bean), *Inga edulis* (ice cream bean), *Crateva tapia* (tapia), *Samanea saman* (rain tree), *Laetia acuminata* (white manwood), *Ochroma pyramidale* (balsa), *Erythrina glauca* (coral bean), *Salix humboldtiana* (pencil willow), *Guazuma ulmifolia* (bay cedar), *Ceiba*

lo largo del tiempo, lo que destaca la dinámica fluvial y la formación de meandros abandonados.

Caracterización del Humedal Respecto a Actividades Productivas

Durante las visitas de campo realizadas entre 2020 y 2023, se observó que el humedal La Negra Orejona perdió su conexión con el río en la parte norte, siendo ahora drenado principalmente por aguas subterráneas, precipitación y un alto nivel freático. Este nivel freático se mantiene en promedio a 30 cm de profundidad, lo que indica una buena conductividad hidráulica radial y un gradiente que responde a la presión del río.

El microclima del área está influenciado por la precipitación, la humedad relativa, la temperatura, y otros factores meteorológicos, con temperaturas entre 24 y 32 °C y precipitaciones anuales de aproximadamente 2 000 mm. Los análisis fisicoquímicos del agua revelan impactos negativos, principalmente debido a la expansión agropecuaria y los vertimientos, que han resultado en una baja concentración de oxígeno disuelto y una alta carga de contaminantes.

La vegetación y fauna del humedal

La vegetación del humedal incluye especies hidrófilas como *Eichhornia crassipes* (buchón de agua), *Pistia stratiotes* (repollito de agua), *Lemna minor* (lenteja de agua) y *Nymphaea alba* (loto). En períodos

pentandra (silk-cotton tree), *Mauritiella* sp. (buriti palm), *Sarcostemma glaucum* (white vine), *Cleome spinosa* (spider flower), *Thespesia populnea* (portia tree), *Echinochloa polystachya* (Aleman grass) and *Brachiaria mutica* (paragrass), which emerge after flooding.

The biodiversity of the area is supported by the presence of the river, oxbow lakes, and the lagoon, allowing for the occurrence of both invertebrates and vertebrates, such as fish, amphibians, reptiles, and mammals. Common species include *Pomacea* sp. (appel snail), *Lepiselaga* sp. *Tabanidae* (horse fly), *Prochilodus reticulatus* (bocachico), *Oreochromis niloticus* (Nile tilapia) and *Lithobates catesbeianus* (American bullfrog).

Birdwatching is frequent, allowing for close-range observation of species such as *Ardea cocoi* (cocoi heron), *Casmerodius albus* (great egret), *Pandion haliaetus* (osprey), *Coragyps atratus* (black vulture), *Chloroceryle amazona* (Amazon kingfisher), *Ceryle torquata* (ringed kingfisher), *Himantopus mexicanus* (black-necked stilt), *Rupornis magnirostris* (roadside hawk), *Nycticorax nycticorax* (black-crowned night heron), *Fulica americana* (American coot), *Dryocopus lineatus* (lineated woodpecker), *Anas cyanoptera* (cinnamon teal), and *Nyctibius griseus* (common potoo). The osprey, a migratory bird from North America, travels from Canada and the United States to South America.

Common mammals in the area include *Hydrochaeris hydrochaeris* (capybara), *Sciurus vulgaris* (red squirrel), and *Lutra lutra* (Eurasian otter), which contribute to the biodiversity of the wetland.

Ecological relationships in the HTCAR

The HTCAR, “La Negra Orejona,” oxbow lake exhibits typical characteristics of equatorial floodplain wetlands. These ecosystems support a wide range of ecological networks, from phytoplankton to mammals. The seasonally flooded forest relics are being replaced by grassland and crops, threatening biodiversity. During flood events, plant and animal communities are restored, helping to maintain the biological diversity of the wetland.

Among the ecological functions of the HTCAR are the regulation of water flows, restoration of flood-prone areas to conserve biodiversity, dissipation of erosive agents, and microclimatic stabilization. These wetlands also function as sinks for suspended materials and nutrients, contributing to the sustainability of local ecosystems.

Payments for environmental services, based on the evaluation frameworks of the Millennium Ecosystem

secos, predominan matorrales bajos como *Mimosa pigra* (zarza), mientras que en los relictos arbóreos de la ronda hídrica se encuentran especies como *Erythrina fusca* (chamburo), *Inga edulis* (guamo), *Crateva tapia* (totofando), *Samanea saman* (samán), *Laetia acuminata* (manteco), *Ochroma pyramidale* (balso), *Erythrina glauca* (cámbulo), *Salix humboldtiana* (sauce), *Guazuma ulmifolia* (guásimo), *Ceiba pentandra* (ceiba), *Mauritiella* sp. (palma quitasol), *Sarcostemma glaucum* (bejuquillo del diablo), *Cleome spinosa* (desbaratabailes), *Thespesia populnea* (malva clemón), *Echinochloa polystachya* (pasto alemán) y *Brachiaria mutica* (pará), que emergen después de las inundaciones.

La biodiversidad del área se ve favorecida por la presencia del río, las madrevejas y la laguna, lo que permite registrar desde invertebrados hasta vertebrados, como peces, anfibios, reptiles y mamíferos. Entre las especies comunes se encuentran: *Pomacea* sp. (caracol manzana), *Lepiselaga* sp. *Tabanidae* (moscardón de los humedales), *Prochilodus reticulatus* (pez endémico de Colombia bocachico), *Oreochromis niloticus* (tilapia nilótica) y *Lithobates catesbeianus* (rana toro).

El avistamiento de aves es frecuente, permitiendo observar a corta distancia especies como *Ardea cocoi* (garzón azul), *Casmerodius albus* (garza real), *Pandion haliaetus* (águila pescadora), *Coragyps atratus* (gallinazo común), *Chloroceryle amazona* (martín pescador chico), *Ceryle torquata* (martín pescador mayor), *Himantopus mexicanus* (cigüeñuela), *Rupornis magnirostris* (gavilán caminero), *Nycticorax nycticorax* (guaco común), *Fulica americana* (polla de agua), *Dryocopus lineatus* (carpintero real), *Anas cyanoptera* (pato colorado) y *Nyctibius griseus* (bienparado). El águila pescadora, un ave migratoria procedente de Norteamérica, viaja desde Canadá y Estados Unidos hasta Suramérica.

Entre los mamíferos comunes se encuentran: *Hydrochaeris hydrochaeris* (chigüiro), *Sciurus vulgaris* (ardilla común) y *Lutra lutra* (nutria), que enriquecen la biodiversidad del humedal.

Relaciones ecológicas en el HTCAR

El HTCAR, madreveja “La Negra Orejona” muestra características típicas de los humedales inundables ecuatoriales. Estos ecosistemas sustentan una variedad de tramas ecológicas desde fitoplancton hasta mamíferos. Los relictos boscosos inundables están siendo reemplazados por pastos y cultivos, amenazando la biodiversidad. Durante las inundaciones, se restauran las comunidades vegetales y animales, manteniendo la diversidad biológica del humedal.

Assessment (MEA, 2005; Saavedra et al., 2018; De Groot, 2002), are grouped into categories relevant to the HTCAR, such as: provision of water, raw materials, and food; hydrological control of floods, erosion, and soil salinization; long-term carbon capture and long-term carbon storage in biomass and soil organic matter; conservation of biodiversity and landscape; aesthetic landscape values linked to culture and spirituality; and the generation of economic opportunities, such as ecotourism.

Once the ecosystem services generated by the La Negra Orejona wetland were identified and characterized, relationships were established between actions and activities in the wetlands and the provision of services that affect the well-being of local communities. According to González & Cantera (2019), the established scores for HTCAR El Burro (2.85), Maizena (2.81), Higerón (2.92), and Cauquita (3.40) indicate that, compared to these, the current value of ecosystem service provision for HTCAR La Negra Orejona is 4.34.

The ecological integration of the river-isolated channel wetland is measured through the ecological rating of the HTCAR, as a numerical approximation that reflects the interaction among factors affecting their condition, based on data obtained from research, field records, and observations.

The estimated values for impacts affecting ecosystem services and the ecological integrity of the wetlands are as follows: Cauquita (6.07), Higerón (5.51), Maizena (4.56), and El Burro (5.19). The current value of ecological integrity for HTCAR La Negra Orejona is 8.60 (González et al., 2023).

The degradation of ecological integrity in the La Negra Orejona wetland is associated with several significant and persistent impacts, such as the alteration of hydrological flow, reduction of water resources, discharge of effluents affecting the physicochemical quality of the water, habitat fragmentation, eutrophication, species migration and disappearance, and the privatization of the wetland. The impacts that contribute most to degradation and affect the provision of ecosystem services include the alteration of hydrological flow, wastewater discharge, eutrophication, habitat fragmentation, and the lack of interest from the entities responsible for wetland management.

Regarding the assessment of the HTCAR, economic, political, administrative, social, and cultural aspects can be observed. For example, the livelihoods of fishing families depend on the proper management of the aquatic ecosystem and oversight by municipal and environmental authorities. The lack of coordination

Entre las funciones ecológicas del HTCAR se incluyen la regulación de flujos de agua, la restauración de áreas inundables para conservar la biodiversidad, la disipación de agentes erosivos, y la estabilización microclimática. Estos humedales también actúan como retenedores de materiales suspendidos y nutrientes, contribuyendo al mantenimiento de los ecosistemas locales.

Los pagos por servicios ambientales, basados en la evaluación de los Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005; Saavedra et al., 2018; De Groot, 2002), se agrupan en categorías que se relacionan con los HTCAR, tales como: provisión de agua, materias primas y alimentos; control hidrológico de inundaciones, erosión y salinización del suelo; captación y almacenamiento de carbono a largo plazo en biomasa y materia orgánica del suelo; conservación de la biodiversidad y el paisaje; valores estéticos del paisaje, vinculados con la cultura y la espiritualidad; y generación de fuentes económicas, como el ecoturismo.

Una vez identificados y caracterizados los servicios ecosistémicos generados en el humedal La Negra Orejona, se establecieron las relaciones entre las acciones y actividades en los humedales y el suministro de servicios que afectan el bienestar de las comunidades locales. Según González & Cantera (2019), las calificaciones establecidas para el HTCAR El Burro (2.85), Maizena (2.81), Higerón (2.92) y Cauquita (3.40) indican que comparado con el valor del suministro de servicios ecosistémicos actuales para el HTCAR La Negra Orejona es de 4.34.

La integración ecológica del humedal cauce aislado de río, se mide a través de la calificación ecológica del HTCAR, como una aproximación numérica que refleja la interacción entre los factores que afectan el estado de estos y la información obtenida de investigaciones, registros de campo y observaciones.

Los valores estimados para los impactos que afectan los servicios ecosistémicos y la integridad ecológica de los humedales son: Cauquita (6.07), Higerón (5.51), Maizena (4.56), y El Burro (5.19). El valor actual de la integridad ecológica para el HTCAR La Negra Orejona es de 8.60. (González et al., 2023).

El deterioro de la integridad ecológica del humedal La Negra Orejona está asociado con varios impactos significativos y persistentes, como la alteración del flujo hídrico, la reducción del recurso hídrico, el vertimiento de efluentes que afectan la calidad fisicoquímica del agua, la fragmentación del hábitat, la eutrofización, la migración y desaparición de especies y la privatización del humedal. Los impactos que más contribu-

among institutions has resulted in the absence of an environmental management plan for the wetland, which should be the responsibility of the Corporación Autónoma Regional del Valle (CVC). However, the CVC has not fulfilled the necessary monitoring and control mechanisms, generating distrust within the community regarding the protection of the HTCAR. There are no preventive or contingency programs related to the HTCAR, and the corporation's activities are limited to isolated actions, such as removing aquatic plants in small areas.

The current state of the La Negra Orejona wetland, as reflected by indicators such as the loss of the water mirror, disconnection from the river, loss of biodiversity, high levels of pollution, and degradation of landscape heritage, is the result of productive activities evaluated through economic, political, social, and cultural indicators. The discharge of untreated wastewater from sugar mills is the most polluting practice, disrupting natural processes through the introduction of solids, salts, metals, phosphates, and pathogenic microorganisms. Sedimentation and runoff of fertilizers and pesticides contribute to eutrophication

In recent years (2020–2023), the wetland has experienced accelerated siltation due to agricultural and livestock expansion, affecting the outlet channel and reducing the water mirror. The construction of embankments has obstructed water flow, leading to the loss of two-thirds of the water mirror and the invasion of aquatic vegetation. The disconnection from the river and the reduced water flow compromise the wetland's recharge, triggering an ecological succession process that is transforming its components into tall shrublands.

Currently, some activities are being carried out to restore the fishermen's sense of belonging, but the lack of support from authorities limits their impact. The absence of environmental management plans and the neglect by authorities have created a sense of dissatisfaction within the community. Social strengthening and enforcement of environmental laws are needed, along with the implementation of environmental management plans and sustainability projects to address the rapid environmental degradation.

The results show that the wetland has great potential for environmental management processes, research-based education, and educational practices. The ecological integrity and ecosystem services of the wetland make it possible to observe ecological succession processes, understand administrative and legal conflicts, and develop didactic models for teaching environmental sciences and other educational alternatives.

yen al deterioro y afectan el suministro de servicios ecosistémicos incluyen la alteración del flujo hídrico, el vertimiento de aguas residuales, la eutrofización, la fragmentación del hábitat y la falta de interés de las entidades responsables del manejo del humedal.

En cuanto a la valoración del HTCAR, se logra percibir aspectos económicos, políticos, administrativos, sociales y culturales, como ejemplo, la subsistencia de las familias pescadoras las cuales dependen de la buena administración del ecosistema hídrico y del seguimiento por parte de las autoridades municipales y ambientales. La falta de coordinación entre las instituciones ha resultado en la ausencia de un plan de manejo ambiental para el humedal, que debería estar bajo la responsabilidad de la Corporación Autónoma Regional del Valle (CVC), la cual no ha cumplido con los mecanismos de seguimiento y control necesarios, generando desconfianza en la comunidad respecto a la protección de los HTCAR. No existen programas preventivos o de contingencia relacionados con el HTCAR, y las actividades de la corporación se limitan a acciones puntuales, como la limpieza de plantas acuáticas en pequeñas áreas.

El estado actual del humedal La Negra Orejona, reflejado en indicadores como la pérdida del espejo de agua, la desconexión con el río, la pérdida de biodiversidad, la alta carga de contaminación y la degradación del patrimonio paisajístico, es consecuencia de actividades productivas evaluadas a partir de indicadores económicos, políticos, sociales y culturales. El vertimiento de aguas residuales, provenientes de ingenios sin tratamiento previo, es la práctica más contaminante, afectando los procesos naturales con sólidos, sales, metales, fosfatos y microorganismos patógenos. La sedimentación y el desagüe de abonos y pesticidas contribuyen a la eutrofización.

En los últimos años (2020–2023), el humedal ha experimentado una colmatación acelerada debido a la expansión agrícola y ganadera, afectando el canal de salida y reduciendo el espejo de agua. La construcción de jarillones ha impedido el flujo de agua, provocando la pérdida de dos tercios del espejo de agua y la invasión de vegetación acuática. La desconexión con el río y la reducción del flujo hídrico afectan la recarga del humedal, llevándolo a un proceso de sucesión ecológica que transforma sus componentes en matorrales altos.

Actualmente, se están llevando a cabo algunas actividades para recuperar el sentido de pertenencia de los pescadores, pero la falta de apoyo de las autoridades limita su impacto. La ausencia de planes de manejo ambiental y el abandono por parte de las autoridades generan una sensación de insatisfacción en la

Conclusions on River-Isolated Channel-Type Wetlands (HTCAR)

The river-isolated channel-type wetlands (HTCAR) in the Cauca River Valley in Colombia are strategic biogeographic units that form a crucial part of the region's ecological corridor. They play an important role in water regulation, groundwater stability, and the formation of microclimates. These wetlands act as carbon sinks that contribute to climate change mitigation by reducing greenhouse gas emissions, and they function as biodiversity refuges, providing habitat for native and migratory species, including birds, amphibians, and fish. Historically, they have also been essential sources of food, water, employment, and recreation for local communities. The preservation of these wetlands is a national and international priority. They require full recognition by authorities and international organizations such as the Ramsar Convention and the Convention on Biological Diversity, so that governments include them in their national conservation plans.

The evolution and degradation of the “La Negra Orejona” wetland demonstrates how ecosystems undergo change through ecological succession. Its current condition reflects the effects of both management and lack of control over productive activities, which have accelerated its siltation and deterioration. Agricultural practices, such as crop expansion, have altered water flows, polluted the habitat, and reduced biodiversity, negatively impacting the wetland's resilience and water quality.

Extensive agricultural practices and poorly planned infrastructure development have had a detrimental impact on HTCAR wetlands. These activities have transformed aquatic surfaces, contaminated water, and caused biodiversity loss. Monitoring of the “La Negra Orejona” oxbow lake between 2020 and 2023 shows that agricultural pressure has led to the homogenization of productive areas and the disappearance of cultural values associated with these wetlands. The analysis of the relationships between the ecological indicators of HTCAR and land use patterns has shown a correlation between the extent of large-scale agriculture and biodiversity loss. This analysis highlights the need to assess both the pressure caused by productive activities on the wetland and its ecological condition.

HTCAR wetlands are a reference point for biodiversity and human well-being, helping to understand the rapid transformation of the region's ecological, social, and cultural conditions. Given that the quality of these wetlands is severely affected by agricultural and livestock pressure, it is urgent to implement monitoring

comunidad. Se necesita un fortalecimiento social y el cumplimiento de las leyes ambientales, así como la implementación de planes de gestión ambiental y proyectos de sustentabilidad para enfrentar la acelerada degradación ambiental.

Los resultados muestran que el humedal tiene un gran potencial para procesos de administración ambiental, educación investigativa y prácticas educativas. La integridad ecológica y los servicios ecosistémicos del humedal permiten observar procesos de sucesión ecológica, comprender conflictos administrativos y jurídicos, y desarrollar modelos didácticos para la enseñanza de las ciencias ambientales y otras alternativas educativas.

Conclusiones sobre los Humedales Tipo Cauces Aislados de Río (HTCAR)

Los humedales tipo cauces aislados de río (HTCAR) en el valle del río Cauca en Colombia, son unidades biogeográficas estratégicas que forman parte crucial del corredor ecológico de la región. Desempeñan un papel vital en la regulación hídrica, la estabilidad de los acuíferos, la formación de microclimas, son sumideros de carbono que contribuyen a la mitigación del cambio climático, reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y como refugio de la biodiversidad, pues son el hábitat para especies autóctonas y migratorias, incluyendo aves, anfibios y peces. Además, históricamente han sido fuentes de abastecimiento de alimentos, agua, trabajo y recreación a las comunidades locales. La preservación de estos humedales es una prioridad a nivel nacional e internacional, pues requieren recibir todo el reconocimiento de las autoridades y organizaciones internacionales como Ramsar y la convención de la biodiversidad, para que los gobiernos las incluyan en sus planes nacionales de conservación.

La evolución y deterioro del humedal “La Negra Orejona” ejemplifican cómo los ecosistemas evolucionan a través de la sucesión ecológica. Su estado actual demuestra los efectos tanto de la gestión como de la falta de control sobre actividades productivas, lo que ha acelerado su colmatación y deterioro. Las prácticas agropecuarias, como la expansión agrícola, han alterado los flujos de agua, contaminado el hábitat y reducido la biodiversidad, afectando negativamente la resiliencia del humedal y la calidad de sus aguas.

Las prácticas agrícolas extensivas y la construcción inadecuada de infraestructuras han tenido un impacto perjudicial en los HTCAR. Estas actividades han transformado las superficies acuáticas, contaminado el agua y ocasionando la pérdida de biodiversidad.

and control measures. It is essential to assess the land adjacent to HTCAR wetlands, control the expansion of aquatic macrophytes, and address pollution and accelerated sedimentation to protect the ecological integrity of these ecosystems.

It is important for all countries to consider the development of a comprehensive legal and regulatory framework that includes national protection for river-isolated channel-type wetlands, based on their high ecological value and necessarily involving local communities in the sustainable management of these wetlands.

Increase funding for restoration projects targeting degraded river-isolated channel wetlands by encouraging partnerships with international organizations and leveraging climate finance mechanisms. Enhance monitoring systems and launch environmental education campaigns to raise public awareness about the significance and value of these ecosystems.

Fundamentally, environmental education is essential for the effective management of river-isolated channel wetlands. It is important to involve local communities, students, and authorities in educational processes, fostering awareness and building capacities that support understanding, restoration, and the sustainable management of these ecosystems. This inclusive approach can lead to the development of more relevant policies and management frameworks, enabling more effective governance.

End of English version

References / Referencias

- Asociaciones de corporaciones autónomas regionales (ASOCAR) & Corporación autónoma regional del Valle del Cauca (CVC) (2015). *Inventario de humedales lénticos del corredor del río Cauca. Departamentos del Cauca y Valle del Cauca*. Editorial CVC.
- Berkes, F., & Seixas, C. (2005). Building resilience in Lagoon Social-ecological systems: A local-level perspective. *Ecosystems*, (8), 967-074.
- Brañes, R. (2000). *El acceso a la justicia ambiental en América Latina*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Burel, F. & Baudry, J. (2001). *Ecologie du paysage: Concepts, méthodes et applications*. Éditions Tec & Doc-Lavoisier.
- Calvente, A. (2007). *Resiliencia: un concepto clave para la sustentabilidad*. Universidad Abierta Interamericana.
- Corporación autónoma regional del valle del cauca. (CVC). (2009). *Humedales del valle geográfico del río Cauca*:

El seguimiento a la madre vieja “La Negra Orejona” entre los años 2020-2023, demuestra que la presión agrícola ha llevado a la homogenización de las áreas productivas y la desaparición de los valores culturales asociados con estos humedales. El análisis de las relaciones entre los indicadores ecológicos del HTCAR y los usos del suelo ha demostrado que existe una correlación entre la proporción de cultivos extensivos y la pérdida de la biodiversidad. Este análisis subraya la necesidad de evaluar tanto la presión que ejercen las actividades productivas sobre el humedal como su estado ecológico.

Los HTCAR son un referente de biodiversidad y bienestar humano para comprender la rápida transformación de las condiciones ecológicas, sociales y culturales de la región. Dado que la calidad de estos humedales está gravemente afectada por la presión agrícola y ganadera, es urgente implementar medidas de control y seguimiento. Es fundamental valorar la superficie adyacente a los HTCAR, controlar la expansión de macrófitas acuáticas, y abordar la contaminación y la sedimentación acelerada para proteger la integridad ecológica de estos ecosistemas.

Es importante para todos los países que puedan adoptar el desarrollo de un marco jurídico y normativo integral que incluya la protección nacional para los humedales cauces aislados de río, con base en el alto valor ecológico que poseen y necesariamente involucrando a las comunidades locales en los procesos de gestión sostenible de los humedales.

Destinar mayores recursos a proyectos de restauración de humedales, cauces aislados de río degradados, fomentando colaboraciones con organizaciones internacionales y mecanismos de financiamiento climático. Mejorando los sistemas de monitoreo y promoviendo campañas de educación ambiental que permitan sensibilizar a la población sobre su conocimiento e importancia.

Por principio, la educación ambiental es fundamental en la gestión ambiental de los humedales cauces aislados de río. Para ello es importante, incluir a las comunidades locales, estudiantes, y autoridades en los procesos educativos, sensibilizando y retroalimentando su capacidad de valorar y fomentar habilidades, que faciliten la comprensión, restauración y manejo sostenible de estos ecosistemas, que permitan crear políticas y marcos de gestión más pertinentes para una gobernanza más eficiente.

Fin de la versión en español

- Génesis, biodiversidad y conservación. Publicación de la subdirección de patrimonio ambiental, Grupo de hidrobiología.* Editorial CVC.
- Corporación autónoma regional del valle del cauca (CVC) (2002). *Laguna y madreveja del departamento del valle del cauca. Publicación de la subdirección de patrimonio ambiental, Grupo de hidrobiología.* Editorial CVC.
- De Groot, M., Wilson, R., & Boumans, R. (2002). A typology for the description, classification, and valuation of ecosystem functions, goods, and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408.
- Einstein, A. (1926). The Cause of the Formation of Meanders in the Courses of Rivers and of the So-Called Baer's Law. *Historia de las Ciencias de la Tierra*, 7 (1), 45-45.
- Folke, C. (2003). *Social-ecological resilience and behavioural responses.* In A. Biel, B. Hansson, & M. Mårtensson (Eds.), *Individual and Structural Determinants of Environmental Practice* (pp. 226-287). Ashgate Publishers.
- Leopold A. (1949). *A Sand County Almanac, and Sketches Here and There.* Universidad de Wisconsin.
- González, L., & Marmolejo L., (2024). Asuntos aplicados a la COP-16 Cali, para una ciudad educadora: El pensamiento y el derecho natural en los ecosistemas ecuatoriales. Universidad Centro panamericano de Estudios Superiores de México. Fundación Red Iberoamericana de Educación. Edición e Impresión POEMIA, su casa editorial. ISBN: 978-628-01-3789-6
- García, H. (2016). Modelo estructural de factores críticos de éxito para la gestión de proyectos industriales. Tesis doctoral en ciencias en ingeniería industrial. Instituto tecnológico de ciudad Juárez. México.
- González, L., Marmolejo, L., López, G., & Hernández, W. (2023). *Madreveja La Negra Orejona valle geográfico del río Cauca. Descripción ecológica y testimonio de existencia. Una propuesta didáctica.* Edición e Impresión POEMIA, su casa editorial.
- González, L. (2019). *Experiencia educativa aplicando las ciencias ambientales a la comprensión de la problemática de cuatro madrevejas en el Valle del Cauca, Colombia (2012-2017).* Tesis doctoral. Universidad del Valle.
- González, L., & Cantera, J. (2019). La problemática ambiental de los humedales tipo cauce aislado de río fortalece el aprendizaje desde las ciencias ambientales. *Revista de Gestión Ambiental (Valdivia)*, (37), 35-59.
- González, L., Marmolejo, L., González, A., Cornejo, M., & López, A. (2018). *La Ruta del Garzón Azul y observaciones en el Complejo Ramsar Sonso-Chircal y Humedales Tipo HTCAR Valle del Cauca.* Edit. Poemia su Casa Editorial.
- González, L., Ramírez, W., Benítez, A., & Moreno, J. (2014). *Estudio de los humedales tipo Cauce aislado del Río Cauca Jamundí, Colombia.* Poemia su casa editorial.
- Hilty, J., Lidicker, W., & Merenlender, A. (2006). *Corridor ecology: The Science and Practice of Linking Landscapes for Biodiversity Conservation.* Island Press.
- Martínez Alier, J. (2020). Un movimiento global por la justicia ambiental: Mapeo de los conflictos de distribución ecológica. Disjuntiva. *Crítica De Les Ciències Socials*, 1 (2), 83-128.
- Marull, J. (2005). Metodologías paramétricas para la evaluación ambiental estratégica. *Revista científica y técnica de Ecología y medio ambiente*, 14 (2), 97-108.
- Medina Y., & Miranda, R. (2021). El Programa de Restauración Ambiental Comunitaria: una estrategia de educación ambiental para conservar la biodiversidad. Libro Educación ambiental y estudios biológicos. Aportes e investigaciones en tiempos de pandemia. Universidad Autónoma Chapingo. <https://omp.siea.org.mx/omp/index.php/omp/catalog/view/7/151/219>
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and human well-being: Wetlands and water. Synthesis.* Island Press.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2012). *Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos: Estrategia para su conservación y uso sostenible.* Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2002). *Política nacional humedales interiores de Colombia: Estrategia para su conservación y uso sostenible.* Ministerio del Medio Ambiente.
- Ostrom, E. (1990). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action.* CambriUNESCOdge University Press.
- Putnam, R. (1993). *Making democracy work: civic traditions in modern Italy, Princeton.* University Press.
- Raimondo, A. (2007). Necesidades de la Educación Ambiental para el abordaje de problemáticas en un espacio de complejidad ambiental: Parque Isla Jordán, Río Negro. *Estudios pedagógicos (Valdivia)*, 33 (1), 101-118.
- Ramsar. (2016). *Wetland Ecosystem Services an introduction. An Introduction to the Convention on Wetlands. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland.* Ramsar hand book.
- Rendón-Cazales, V., Hernández-Alvarado, M., & Agüero-Servín, M. (2024). Revisión crítica de la literatura: la docencia universitaria en la post-pandemia. *Revista Electrónica en Educación y Pedagogía*, 8(14), 222-244. doi: <https://doi.org/10.15658/rev.electron.educ.pedagog24.02081413>
- Salazar, A. (1991). *Evaluación de impacto ambiental. Metodologías empresas públicas de Medellín. Memoria seminario internacional de impacto ambiental.* Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Acodal).
- Saavedra S., Carabalí, D., González, L., & Marmolejo, L. (2018). Estudio comparado de los servicios ecosistémicos de los humedales Guarinó y Cauquita, en el Valle del Cauca (Colombia). *Ambiente y Desarrollo*, 22 (43).
- UNESCO. (2002). *Educación para un futuro sostenible: Una visión transdisciplinar para una ética de la sostenibilidad.* UNESCO.



EN

Solid state fermentation: A comparison of aerobic and anaerobic fermenters performance

ES

Fermentación en estado sólido: Una comparación del rendimiento de fermentadores aerobios y anaerobios

Hannia Valentina Espinoza Reyes*; Cecilia García Bravo; Sonia Herrera Monrroy

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Escuela Superior de Apan, México.

*Corresponding author:

***Corresponding author:**

es380966@uaeh.edu.mx

ORCID: 0009-0000-1407-1369.

Received: January 30, 2025

Accepted: May 27, 2025

Published online: August 18, 2025

Abstract

Solid-state fermentation (FES by its abbreviation in Spanish) involves the growth of microorganisms in solid-wet materials to produce enzymes, organic acids, biopesticides, biofuels, among others. Compared to submerged fermentation, this method offers advantages such as: simple culture media, higher volumetric productivity with lower input requirements. Furthermore, it allows the use of agroindustrial waste, reducing costs and contributing to sustainable waste management. The objective of this study was to compare the efficiency of aerobic (biodigester bales) and anaerobic (traditional composting) solid fermenters by quantifying the microbial respiration rate (TRM by its abbreviation in Spanish) using alkaline traps, mineralization rate (TAM by its abbreviation in Spanish), performance, pH and percentage of organic carbon (%CO) of two treatments (one anaerobic and one aerobic fermentation), with four replicates each set in a completely randomized experimental design. The results were analyzed with analysis of variance, Bartlett's test for homogeneity of variance, and Tukey's comparison of means ($P \leq 0.05$). Parameter analysis revealed that TAM was significantly higher in anaerobic treatments (1.62 g-d^{-1}) compared to aerobic treatments (0.70 g-d^{-1}). On the other hand, performance was 20% higher in aerobic fermenters compared to anaerobic ones. These results will contribute to optimize FES processes, promoting sustainable waste management practices, and improving the production of quality organic fertilizers.

Keywords: Carbon dioxide, fermentation, microorganism (thesaurus), fertilizer, mineralization.

Resumen

La fermentación en estado sólido (FES) implica el crecimiento de microorganismos en materiales sólidos - húmedos para producir enzimas, ácidos orgánicos, biopesticidas, biocombustibles, entre otros. En comparación con la fermentación sumergida, este método ofrece ventajas como: simplicidad de los medios de cultivo, mayor productividad volumétrica con menores requerimientos de insumos. Además, permite el uso de residuos agroindustriales, reduciendo costos y contribuyendo a la gestión sostenible de residuos. El objetivo de este estudio fue comparar la eficiencia de los fermentadores sólidos aerobios (pacas biodigestoras) y anaerobios (compostero tradicional) mediante la cuantificación de la tasa de respiración microbiana (TRM) por trampas alcalinas, tasa de mineralización (TAM), rendimiento, pH y porcentaje de carbono orgánico (% CO) de dos tratamientos (uno de fermentación anaerobia y otro de aerobia), con cuatro repeticiones cada uno establecidos en un diseño experimental completamente al azar. Los resultados se analizaron con análisis de varianza, prueba de homogeneidad de varianzas Bartlett y comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$). Al analizar los parámetros, se observó que la TAM fue significativamente mayor en los tratamientos anaerobios (1.62 g-d^{-1}) en comparación con los aerobios (0.70 g-d^{-1}). Por otro lado, el rendimiento fue un 20 % superior en los fermentadores aerobios respecto a los anaerobios. Estos resultados contribuirán a optimizar los procesos de FES, promover prácticas sostenibles de gestión de residuos y mejorar la producción de abonos orgánicos de calidad.

Palabras clave: Dióxido de carbono, fermentación, microorganismo (tesauros), abono, mineralización.

Introduction

Solid-state fermentation (SSF) is a biotechnological process characterized by being carried out on a solid support with low humidity content, under non-aseptic and natural conditions. This method, which can be applied to a variety of wastes and soils, has been widely used for the production of food, fertilizers, fuels, enzymes, and dye degradation (Singhania et al., 2009). Among the outstanding features of this treatment include its simplicity of installation, its easy operation, and high-quality fertilizer (Peñalosa-Bernal & Ossa-Carrasquilla, 2023).

FES involves the growth of microorganisms on solid-wet materials in the absence or with a low amount of free water (no more than 12% V/V) (Tejeda-Mansir et al., 2011). Its foundations are based on principles such as microbial adhesion to the substrate, nutrient and oxygen diffusion, and extracellular enzyme secretion. Key features include low water activity, substrate heterogeneity and nutrient concentration (Farinas, 2015).

Historically, FES, in conjunction with submerged liquid fermentation, has been used for the production of fermented foods such as tempeh, koji, and soy sauce. In recent decades, it has gained importance in the production of different products of industrial and biotechnological interest (Singhania et al., 2009). In this process, microorganisms are cultivated on a solid-wet substrate, usually an organic material such as wheat bran, sugarcane bagasse, or agricultural waste.

In this fermentation, the substrate is humidified with a nutrient solution or water, and in some cases, inoculated with microorganisms. During the process, the microorganisms grow attached to the solid substrate and secrete enzymes and other metabolites (Mitchell et al., 2006), carrying out this process under both aerobic and anaerobic conditions. Aerobic fermentation requires oxygen and produces CO₂, water, and energy, which are used in the production of compost and some enzymes. Anaerobic fermentation, on the other hand, occurs in the absence of oxygen and produces biogas, being applied in biofuel production and wastewater treatment (Pandey et al., 2017).

Proper selection of solid substrates and control of process parameters are key aspects in FES. The substrate must have a suitable chemical and physical composition to support microbial growth, provide nutrients, and maintain appropriate humidity and aeration conditions (Thomas et al., 2013). Parameters such as temperature, humidity, pH (hydrogen potential), aeration, and agitation influence microbial growth, metabolite production, and final product quality (Ruíz-Leza et al., 2007).

Introducción

La fermentación en estado sólido (FES) es un proceso biotecnológico caracterizado por llevarse a cabo sobre un soporte sólido con bajo contenido de humedad, en condiciones no asépticas y naturales. Este método, que puede aplicarse a una variedad de residuos y suelos, ha sido ampliamente utilizado para la producción de alimentos, abonos, combustibles, enzimas y la degradación de colorantes (Singhania et al., 2009). Dentro de las características resaltables de este tratamiento se encuentran la simplicidad en la instalación, su fácil operación y la calidad del abono (Peñalosa-Bernal & Ossa-Carrasquilla, 2023).

La FES implica el crecimiento de microorganismos en materiales sólidos-húmedos en ausencia o con poca cantidad de agua libre (no más del 12 % V/V) (Tejeda-Mansir et al., 2011). Sus fundamentos se basan en principios como la adhesión microbiana al sustrato, la difusión de nutrientes y oxígeno, y la secreción de enzimas extracelulares. Las características principales incluyen la baja actividad de agua, la heterogeneidad del sustrato y la concentración de nutrientes (Farinas, 2015).

Históricamente, la FES, en conjunto con la fermentación líquida sumergida, se ha utilizado para la producción de alimentos fermentados como el tempeh, el koji y la salsa de soja. En las últimas décadas, ha ganado importancia en la producción de diversos productos de interés industrial y biotecnológico (Singhania et al., 2009). En este proceso, los microorganismos se cultivan en un soporte sólido-húmedo, generalmente un material orgánico como salvado de trigo, bagazo de caña de azúcar o residuos agrícolas.

En esta fermentación, el sustrato se humedece con una solución de nutrientes o agua, y en algunos casos se inocula con microorganismos. Durante el proceso, los microorganismos crecen adheridos al sustrato sólido y secretan enzimas y otros metabolitos (Mitchell et al., 2006), realizando este proceso tanto en condiciones aerobias como anaerobias. La fermentación aerobia requiere oxígeno y produce CO₂, agua y energía, utilizándose en la producción de compost y algunas enzimas. Por otro lado, la fermentación anaerobia ocurre en ausencia de oxígeno y produce biogás, aplicándose en la producción de biocombustibles y tratamiento de aguas residuales (Pandey et al., 2017).

La selección adecuada del sustrato sólido y el control de los parámetros de proceso son aspectos clave en la FES. El sustrato debe tener una composición química y física adecuada para permitir el crecimiento microbiano, proporcionar nutrientes y mantener condiciones apropiadas de humedad y aireación (Thomas et al., 2013). Los

According to Castro et al. (2020), this type of treatment regulates the generation of leachates with beneficial characteristics for the soil, and after a 4 to 6 month incubation period, the substrate generated can be incorporated into the soil. In this context, obtaining organic fertilizers from local waste through FES processes represents a sustainable and economical alternative for the management of these wastes and the production of value-added products.

The design and evaluation of FES systems are essential to ensure optimal efficiency in terms of ripening time, final product quality, and gas emissions. To evaluate the efficiency of fermenters crucial parameters such as ripening time, performance and amount of organic content are considered (Cerdeña et al., 2017). In addition, absolute mineralization rate (TAM) and microbial respiration rate are important indicators of metabolic activity and organic matter decomposition (Smith & Brown, 2020).

Ripening time and performance vary depending on the substrate and process conditions. The former refers to the period required for the organic matter to fully decompose without significant loss of nutrients. In aerobic fermentations, the reported ripening time is usually 15 to 30 days, while in anaerobic processes it can extend up to 60 days (Pandey et al., 2017). Similarly, the performance of fermenters is the amount of microbial biomass produced per unit of initial substrate and is determined by the dry weight of the biomass at the end of the fermentation process (Pandey et al., 2000).

On the other hand, TAM is a measure of decomposition of organic matter into minerals during the fermentation process. This quantification is key in the evaluation of fermentation efficiency as it indicates the rate at which microorganisms are converting organic matter into inorganic compounds (Smith & Brown, 2020). Finally, the microbial respiration rate is crucial in assessing the vitality and efficiency of the fermentation process, showing the metabolic activity of microorganisms. It is measured by recording the amount of carbon dioxide (CO₂) produced by microorganisms when decomposing organic matter in a substrate. In addition to these parameters, the correct concentration of elements such as nitrogen, phosphorus, and potassium is vital for the development of microorganisms and the quality of the final product (Pandey et al., 2017), so measurements of these are also suggested.

FES offers several advantages, including the ability to use agroindustrial waste as substrates, which reduces production costs and contributes to sustainable waste management. Furthermore, it can be carried out under low water activity conditions, which reduces the risk of microbial contamination (Singhania et al., 2009).

parámetros como temperatura, humedad, pH (potencial de hidrógeno), aireación y agitación, influyen en el crecimiento microbiano, la producción de metabolitos y la calidad del producto final (Ruíz-Leza et al., 2007).

De acuerdo con Castro et al. (2020) este tipo de tratamiento regula la generación de lixiviados con características benéficas para el suelo y al cabo de un periodo de 4 a 6 meses de incubación, el sustrato generado puede incorporarse al suelo. En este contexto, la obtención de abonos orgánicos a partir de residuos locales mediante procesos de FES representa una alternativa sostenible y económica para la gestión de estos residuos y la elaboración de productos de valor agregado.

El diseño y la evaluación de los sistemas FES son fundamentales para garantizar una eficiencia óptima en términos de tiempo de maduración, calidad del producto final y emisiones de gases. Para evaluar la eficiencia de los fermentadores, se consideran parámetros cruciales como el tiempo de maduración, el rendimiento y la cantidad de materia orgánica (Cerdeña et al., 2017). Además, la tasa absoluta de mineralización (TAM) y la tasa de respiración microbiana son indicadores importantes de la actividad metabólica y la descomposición de la materia orgánica (Smith & Brown, 2020).

El tiempo de maduración y el rendimiento, varían según el sustrato y las condiciones del proceso, el primero se refiere al período necesario para que la materia orgánica se descomponga completamente sin una pérdida significativa de nutrientes. En fermentaciones aerobias, el tiempo reportado de maduración suele ser de 15 a 30 días, mientras que en procesos anaerobios puede extenderse hasta 60 días (Pandey et al., 2017). De igual manera, el rendimiento de los fermentadores es la cantidad de biomasa microbiana producida por unidad de sustrato inicial y se determina por el peso seco de la biomasa al final del proceso de fermentación (Pandey et al., 2000).

Por otra parte, la TAM es una medida de descomposición de la materia orgánica en minerales durante el proceso de fermentación. Esta cuantificación es clave en la evaluación de la eficiencia de la fermentación ya que indica la velocidad a la cual los microorganismos están convirtiendo la materia orgánica en compuestos inorgánicos (Smith & Brown, 2020). Por último, la tasa de respiración microbiana es crucial para evaluar la vitalidad y eficiencia del proceso de fermentación, mostrando la actividad metabólica de los microorganismos. Se mide registrando la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) producido por los microorganismos al descomponer la materia orgánica en un sustrato. Además de estos parámetros, la correcta concentración de elementos como el nitrógeno, fósforo y potasio es vital para el desarrollo de los microorganismos y la

Compared to submerged fermentation processes, FES provides simplicity in culture media, higher volumetric productivity, lower energy and water requirements, and the possibility of using agroindustrial waste as substrates (Pastrana, L. 1996; Pandey, 2003).

In this context, this study aims to determine the efficiency of solid-state fermentation for producing compost made from local wastes by quantifying the performance, CO₂ emission, mineralization rate (TAM), organic matter, and pH changes. To this end, two types of fermenters were established: aerobic and anaerobic, using components that simulated a biodigester bale system and a traditional composter, respectively.

The importance of this study lies in the need to find effective solutions for the use of local waste and the production of quality organic fertilizers. Results can contribute to the development of strategies for waste management and organic fertilizer production at the local level, promoting sustainable agricultural practices and reducing the environmental impact associated with improper waste disposal.

Materials and Methods

This research consisted of an exploratory descriptive study with a quantitative approach, where two types of fermentation (aerobic and anaerobic) were evaluated using a bioreactor model described in Table 1. For each type of fermentation, a treatment and an absolute control were established with four replicates each, in a completely randomized design, considering each individual bioreactor as the experimental unit, making a total of 16 experimental units.

Establishment of fermenters

To establish the fermenters, bioreactors were set up containing a compost mix made from local soil, sheep fertilizer, barley straw, and urea. Before establishing the mixes, the soil and fertilizer were dried in an oven at 60°C until constant weight was reached. Then, the apparent density (Dap by its abbreviation in Spanish) of both materials was then determined by placing them in a 1L plastic test tube, giving constant blows to the base of the test tube until they were compacted, recording the volume and weight (Dap data was used to determine the percentage of humidity in the mixes). Subsequently, all the materials were then homogenized to a particle size of 4 mm passing them through a sieve and then assembling the bioreactors for each type of fermentation.

In the case of anaerobic fermentation, the reactor was adapted to achieve a construction of biodigester bales;

calidad del producto final (Pandey et al., 2017) por lo que también se sugiere realizar mediciones de estos.

La FES ofrece varias ventajas, incluyendo la capacidad de utilizar residuos agroindustriales como sustratos, lo que reduce los costos de producción y contribuye a la gestión sostenible de los residuos. Además, puede llevarse a cabo en condiciones de baja actividad de agua, lo que reduce el riesgo de contaminación microbiana (Singhania et al., 2009). En comparación con los procesos de fermentación sumergida, la FES brinda simplicidad en los medios de cultivo, una mayor productividad volumétrica, menores requisitos de energía y agua, y la posibilidad de utilizar residuos agroindustriales como sustratos (Pastrana, L. 1996; Pandey, 2003).

En este contexto, el presente estudio busca determinar la eficiencia de la fermentación en estado sólido para la obtención de un abono elaborado con residuos locales mediante la cuantificación del rendimiento, la emisión de CO₂, la tasa de mineralización (TAM), la materia orgánica y los cambios en el pH. Para ello, se establecieron dos tipos de fermentadores: aerobios y anaerobios, utilizando componentes que simulaban un sistema de pacas biodigestoras y un compostero tradicional, respectivamente.

La importancia de este estudio radica en la necesidad de encontrar soluciones efectivas para el aprovechamiento de residuos locales y la producción de abonos orgánicos de calidad. Los resultados pueden contribuir al desarrollo de estrategias de gestión de residuos y producción de abonos orgánicos a nivel local, fomentando prácticas agrícolas sostenibles y reduciendo el impacto ambiental asociado a la disposición inadecuada de residuos.

Materiales y Métodos

La presente investigación consistió en un estudio de tipo exploratorio descriptivo con enfoque cuantitativo, donde se evaluaron dos tipos de fermentación (aerobia y anaerobia) utilizando para ello un modelo de biorreactor descrito en el Cuadro 1. De cada tipo de fermentación se establecieron un tratamiento y un testigo absoluto con cuatro repeticiones cada uno, en un diseño completamente al azar, considerando como unidad experimental a cada biorreactor individual, haciendo un total de 16 unidades experimentales.

Establecimiento de fermentadores

Para establecer los fermentadores se montaron biorreactores conteniendo una mezcla para compost la cual se elaboró con suelo local, estiércol de borrego, paja de cebada y urea. Para ello, antes de establecer las mezclas,

Table 1. Description of the evaluated treatments.
Cuadro 1. Descripción de los tratamientos evaluados.

Treatment (type of fermentation) / Tratamiento (tipo de fermentación)	Simbology / Simbología	Simbology of each repetition / Simbología de cada repetición	Description / Descripción
Anaerobic fermenter / Fermentador anaerobio	T _{ana}	T _{ana1} T _{ana2} T _{ana3} T _{ana4}	Clear glass bottle, 250 mL capacity, containing 4 cm high compost mix and alkaline trap, hermetically sealed. / Frasco de vidrio transparente, de 250 mL de capacidad, conteniendo 4 cm de altura de mezcla para compost y trampa alcalina, cerrado herméticamente.
Anaerobic reference fermenter / Fermentador testigo anaerobio	Test _{ana}	Test _{ana1} Test _{ana2} Test _{ana3} Test _{ana4}	Clear glass bottle, 250 mL capacity, without compost mix, but with alkaline trap, hermetically sealed. / Frasco de vidrio transparente, de 250 mL de capacidad, sin mezcla para compost, pero con trampa alcalina, cerrado herméticamente.
Aerobic fermenter / Fermentador aerobio	T _{aero}	T _{aero1} T _{aero2} T _{aero3} T _{aero4}	Clear glass, bottle, 250 mL capacity, containng 4 cm de high compost mix* and alkaline trap, with cheesecloth lid. / Frasco de vidrio transparente, de 250 mL de capacidad, conteniendo 4 cm de altura de mezcla para compost* y trampa alcalina, con tapa de manta de cielo.
Aerobic reference fermenter / Fermentador testigo aerobio	Test _{aero}	Test _{aero1} Test _{aero2} Test _{aero3} Test _{aero4}	Clear glass bottle, 250 mL capacity, without compost mix, with alkaline trap and cheesecloth lid. / Frasco de vidrio transparente, de 250 mL de capacidad, sin mezcla para compost, con trampa alcalina y con tapa de manta de cielo.

Note: Description of the composition of the compost mix alkaline traps will be given in later sections.

Nota: La descripción de la composición de la mezcla para compost y de las trampas alcalinas se dará en secciones posteriores.

first, 4 bottles per treatment were cleaned and dried and individually labeled. Then, layers of the components were placed in the order detailed below; each layer consisted of straw (0.4 cm), dry fertilizer (0.07 cm), soil (0.12 cm), and urea (0.003 cm), reaching a total height of 4 cm without compaction. Small quantities, such as urea, were previously quantified on a flat surface using a millimeter ruler, allowing for accurate measurements before adding the layers to the glass flask. Once the layers were completed, sufficient distilled water was added to achieve 30% moisture content (approximately 75 mL of water per anaerobic reactor and 100 mL for aerobic reactors), and the mixture was compacted to eliminate gaps where oxygen could accumulate. The bottles were sealed, weighed, and the initial weight was recorded for weekly monitoring.

For aerobic fermentation, which has a traditional composting function, similar steps to the previous process were followed, but in these reactors, the layers were not compacted and the bottles were not sealed, only a cheese cloth was placed to allow gas exchange and protect the mixtures from inclusion of external mate-

se sometió el suelo y el estiércol a una desecación en una estufa a 60 °C hasta alcanzar un peso constante. Luego, se determinó la densidad aparente (Dap) de ambos materiales colocándolos en una probeta de plástico de 1 L, dando golpes constantes en la base de ésta, hasta compactarlos, registrando el volumen y el peso (el dato de la Dap se usó para determinar el porcentaje de humedad en las mezclas). Posteriormente todos los materiales fueron homogeneizados a un tamaño de partícula de 4 mm, haciéndolos pasar por un tamiz para después montar los biorreactores de cada tipo de fermentación.

En el caso de la fermentación anaerobia se adecuó el reactor con el fin de lograr una construcción de pacas biodigestoras; primero, se limpiaron y secaron 4 frascos por tratamiento los cuales fueron identificados individualmente. Después, se colocaron capas de los componentes siguiendo un orden que se detalla a continuación; cada capa fue formada por paja (0.4 cm), estiércol seco (0.07 cm), suelo (0.12 cm) y urea (0.003 cm) hasta completar una altura total de 4 cm sin compactar. Para las cantidades pequeñas, como la urea, se cuantificaron previamente en una superficie plana utilizando una regla

rial; in addition, a weekly regimen of complete mixing of the components was established, simulating the mixing performed in composters to promote oxygenation. Control treatments were set up in identical reactors for the two treatments described above, but without the compost mix.

Fermenters Evaluation

In each treatment described in Table 1, the performance was evaluated (gram by gram and total biomass), absolute mineralization rate (TAM) and the CO₂ emission (also called microbial respiration rate or TRM) were evaluated by taking weekly measurements for 105 days, using the method suggested by Guerrero-Ortiz et al. (2012), which consisted of placing a sample of the compost mix with 30% humidity content relative to dry weight into the reactors with an alkaline trap, recording the changes in the weight of the fermenters, as well as the trap readings during the incubation period. The methodology used to evaluate each parameter mentioned is described below.

Performance

To obtain the gram-by-gram performance, the final weight of the mixture (dry weight on day 105 of incubation) was divided by the initial weight (dry weight on day 1 of incubation) and to calculate the total biomass performance, the initial wet weight (mixture with 30% humidity on day 1 of incubation) was subtracted from the final wet weight (mixture with 30% humidity on day 105 of incubation).

Mineralization rate (TAM)

It was calculated by weighing the reactors with the mixture every seven days, returning the humidity to 30% after each weighing and applying Formula (1) to the data obtained:

$$TAM = \frac{\text{Reference Weight} - \text{Sample Weight}}{\text{incubation}} \quad (1)$$

Microbial Respiration Rate (TRM)

The methodology for determining CO₂ or TRM emissions consisted of placing an alkaline trap inside the reactors containing the compost mixture. The trap consisted of a glass tube containing 5 mL of sodium hydroxide 1 N (NaOH) with a strip of filter paper submerged in it to trap the CO₂ released. Readings of the gas trapped in the filter paper were taken every seven days, adding 2 mL of 2% barium chloride (BaCl) to the 1N NaOH and titrating with 1.06 N hydrochloric acid (HCl), using three drops of phenolphthalein as an indicator. Formula (2)

milimétrica, lo que permitió obtener mediciones exactas antes de agregar las capas al frasco de vidrio. Una vez que las capas fueron completadas, se añadió suficiente agua destilada para alcanzar el 30 % de humedad (aproximadamente 75 mL de agua por reactor anaerobio y 100 mL para los aerobios) y se compactó la mezcla para eliminar huecos donde pudiera almacenarse oxígeno. Los frascos se sellaron, se pesaron y se registró el peso inicial para su seguimiento semanal.

Para la fermentación aerobia, que tiene una función de compostero tradicional, se siguieron pasos similares al proceso anterior, pero en estos reactores, las capas no fueron compactadas y los frascos no fueron sellados, únicamente se colocó una manta de cielo que permitiría el intercambio gaseoso y protegería las mezclas de inclusión de material externo; además, se estableció un régimen semanal de mezclado completo de los componentes, simulando el mezclado que se realiza en los composteros para favorecer la oxigenación. Los tratamientos testigos se establecieron en reactores idénticos para los dos tratamientos antes descritos, pero sin colocar la mezcla para compost.

Evaluación de fermentadores

En cada tratamiento descrito en el Cuadro 1 se evaluó el rendimiento (gramo a gramo y biomasa total), la tasa absoluta de mineralización (TAM) y la emisión de CO₂ (también llamada tasa de respiración microbiana o TRM por sus siglas), realizando mediciones semanales durante 105 días, utilizando el método sugerido por Guerrero-Ortiz et al. (2012), el cual consistió en colocar una muestra de la mezcla para compost con 30 % de humedad con respecto al peso seco en los reactores con una trampa alcalina, registrando los cambios en el peso de los fermentadores, así como las lecturas de las trampas durante el periodo de la incubación. A continuación, se describe la metodología empleada para evaluar cada parámetro mencionado

Rendimiento

Para obtener el rendimiento gramo a gramo se dividió el peso final de la mezcla (peso seco en el día 105 de incubación) entre el peso inicial (peso seco en el día 1 de incubación) y para calcular el rendimiento de biomasa total se restó el peso húmedo inicial (mezcla con 30 % de humedad en el día 1 de incubación) del peso húmedo final (mezcla con 30 % de humedad en el día 105 de incubación).

Tasa de mineralización (TAM)

Se calculó pesando los reactores con la mezcla cada siete días, regresando la humedad al 30 % después

was applied to the NaOH expenditure readings.

$$TRM = (GB - GT)(NHCL * Peq CO_2) \quad (2)$$

Where:

GB: NaOH consumption in references

GT: NaOH consumption in treatments

NHCl: Normality of hydrochloric acid

Peq: CO₂ equivalent weight

Percentage of organic carbon (% CO) and pH

Upon completion of the CO₂ emission evaluations, the percentage of organic carbon (% CO) was determined by the method of total calcination of the mixture (Ansoarena-Miner, 1994), drying the samples at 70 °C until constant weight, recording this data and then subjecting them to temperatures of 480 °C and applying Formula (3) to the results.

$$\% CO = \left(\frac{(Pm - Pc) * 100}{Pc} \right) * 0.58 \quad (3)$$

Where:

Pm = Weight of dried mixture at 70 °C

Pc = Weight of the mixture after incineration (weight of ashes)

The pH (hydrogen potential) was also measured following the methodology described in the Mexican Official Standard NOM-021-SEMARNAT-2000: Specifications for fertility, salinity and soil classification, which consists of forming an aqueous extract obtained by vacuum filtration of a saturated soil paste made with distilled water in proportions of 2:1 proportion (2 volumes of water and 1 of soil), to subsequently read the parameter with a potentiometer and record the result in each of the treatments, for later analysis.

Data analysis

To evaluate the values obtained from aerobic and anaerobic fermenters and their respective controls throughout the incubation period, the data on performance, % CO, pH, TAM and TRM were processed using a Bartlett's test for homogeneity of variance, analysis of variance (ANOVA) and a complementary Tukey Kramer test for comparison of measurements, with a significance value of $P < 0.05$.

Results and Discussion

The results showed that, although aerobic and anaerobic fermentation methods are effective at decomposing organic matter, they differ in some key parameters. The results provide a detailed insight into how different oxygen conditions affect the composting process. The

de cada pesaje y aplicando en los datos obtenidos la Fórmula (1):

$$TAM = \frac{\text{Peso testigo} - \text{Peso de la muestra}}{\text{días de incubación}} \quad (1)$$

Tasa de respiración Microbiana (TRM)

La metodología para determinar la emisión de CO₂ o TRM consistió en colocar dentro de los reactores que contenían la mezcla para compost, una trampa alcalina conformada por un tubo de vidrio conteniendo 5 mL de hidróxido de sodio (NaOH) 1 N con una tira de papel filtro sumergida en él, para atrapar el CO₂ desprendido. Se tomaron lecturas del gas atrapado en el papel filtro cada siete días, agregando al NaOH 1N, 2 mL de Cloruro de Bario (BaCl) al 2 % y titulando con ácido clorhídrico (HCl) 1.06 N, usando tres gotas de fenolftaleína como indicador. A las lecturas del gasto de NaOH se les aplicó la Fórmula (2).

$$TRM = (GB - GT)(NHCL * Peq CO_2) \quad (2)$$

Donde:

GB: Gasto de NaOH en testigos

GT: Gasto de NaOH en tratamientos

NHCl: Normalidad de ácido clorhídrico

Peq: Peso equivalente del CO₂

Porcentaje de carbono orgánico (% CO) y pH

Al finalizar las evaluaciones de emisión de CO₂, se determinó el porcentaje de carbono orgánico (% CO) por el método de calcinación total de la mezcla (Ansoarena-Miner, 1994), secando las muestras a 70 °C hasta peso constante, registrando este dato para después someterlas a temperaturas de 480 °C y aplicar en los resultados la Fórmula (3).

$$\% CO = \left(\frac{(Pm - Pc) * 100}{Pc} \right) * 0.58 \quad (3)$$

Donde:

Pm = Peso de la mezcla secada a 70 °C

Pc = Peso de la mezcla después de incinerar (peso de cenizas)

También se midió el pH (potencial de hidrógeno) siguiendo la metodología descrita en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000: Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, la cual consiste en formar un extracto acuoso que se obtiene por filtración al vacío de una pasta de suelo saturado hecha con agua destilada en proporciones 2:1 (2 volúmenes de agua y 1 de suelo), para posteriormente leer el parámetro con un potenciómetro y registrar el resultado en cada uno de los tratamientos, para su posterior análisis.

data and analysis for each parameter evaluated are discussed below.

Performance

The weight change of the reactors reflected the amount of organic matter that was mineralized per gram of initial mixture. A gram-by-gram reduction in the weight of the mixtures was observed, as shown in Table 2. This reduction is attributable to the conversion of organic matter resulting from intense microbial activity (Bernal et al., 2009). Under anaerobic conditions, the decrease in weight was less than in the aerobic fermentation treatment, suggesting a slower decomposition of organic matter (Tuomela et al., 2000).

Regarding the total biomass performance, significant differences ($0.013 < 0.05$) were obtained between treatments, where aerobic reactors obtained an average of 58.99 ± 10 g, while the anaerobic treatment showed a higher average yield with 79.64 ± 9.6 g. This result suggests that the anaerobic treatment lost less biomass compared to the aerobic treatment (Figure 1), confirming that mineralization occurs slower than in anaerobic fermenters (Bernal et al., 2009).

On the other hand, it was observed that aerobic fermenters tended to produce higher quality compost in terms of structure, i.e., the mixtures fermented in aerobic reactors were visually less compact and to the touch, they were perceived as fluffy as soon as they left the oven compared to those fermented in anaerobic reactors (Figure 2). This could be due to the configuration of the microbial consortia that were favored during the fermentation processes, since according to studies by Vásquez Castro & Millones (2021) in aerobic composting processes, during the initial and mesophilic stages (identified because in them it is still possible to distin-

Análisis de datos

Para evaluar los valores obtenidos de los fermentadores aerobios, anaerobios y sus respectivos testigos a lo largo del periodo de incubación, se procesaron los datos de rendimiento, % CO₂, pH, TAM y TRM mediante una prueba de homogeneidad de varianza de Bartlett, análisis de varianza (ANOVA) y una prueba complementaria de comparación de medidas de Tukey Kramer, con un valor de significancia de $P < 0.05$.

Resultados y Discusión

Los resultados mostraron que, aunque los métodos de fermentación aerobio y anaerobio son efectivos para descomponer la materia orgánica, presentan diferencias en algunos parámetros clave. Los resultados obtenidos ofrecen una visión detallada sobre cómo las diferentes condiciones de oxígeno afectan el proceso de compostaje. A continuación, se abordan los datos y el análisis de cada parámetro evaluado.

Rendimiento

El cambio de peso de los reactores reflejó la cantidad de materia orgánica que fue mineralizada por cada gramo de mezcla inicial. Se observó una reducción en el peso gramo a gramo de las mezclas como se muestra en la Cuadro 2. Esta reducción es atribuible a la conversión de materia orgánica producto de la actividad microbiana intensa (Bernal et al., 2009). En condiciones anaerobias, la disminución de peso fue menor que en el tratamiento de fermentación aerobia, lo que sugiere una descomposición más lenta de materia orgánica (Tuomela et al., 2000)

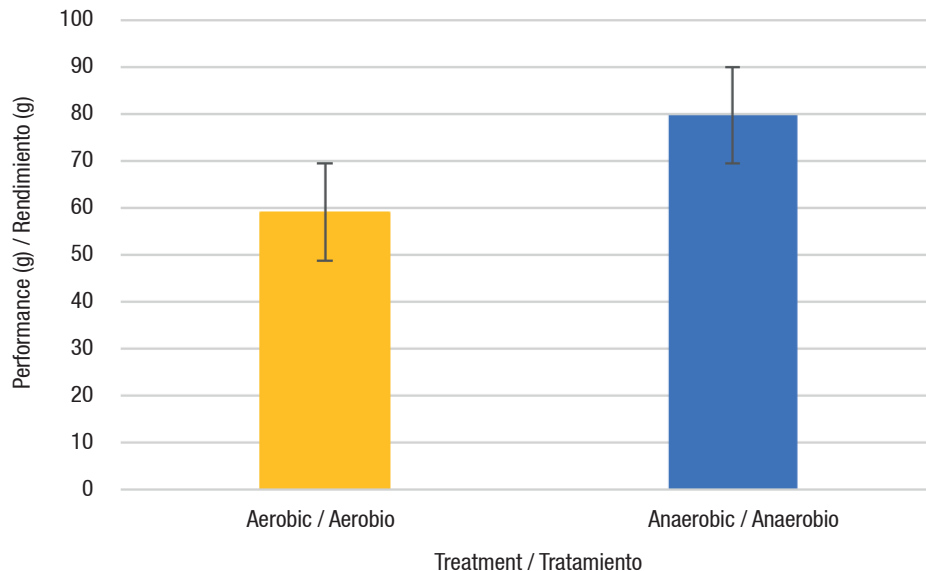
En cuanto al rendimiento de biomasa total, se obtuvieron diferencias significativas ($0.013 < 0.05$) entre trata-

Table 2. Effect of treatment type on biomass performance.
Cuadro 2. Efecto del tipo del tratamiento en el rendimiento de la biomasa.

Treatment / Tratamiento	Initial weight /Peso inicial	Final weight / Peso final	Performance / Rendimiento
	(g)	(g)	(g compost·g ⁻¹ mixture) / (g compost·g ⁻¹ mezcla)
Aerobic	88.73 ±11 a	75.85 ± 4 b	0.8572 ± 0.03 b
Anaerobic	130.04 ± 10 a	123.83 ± 7 a	0.9451 ±0.006 a
DMSH	43	35	0.1

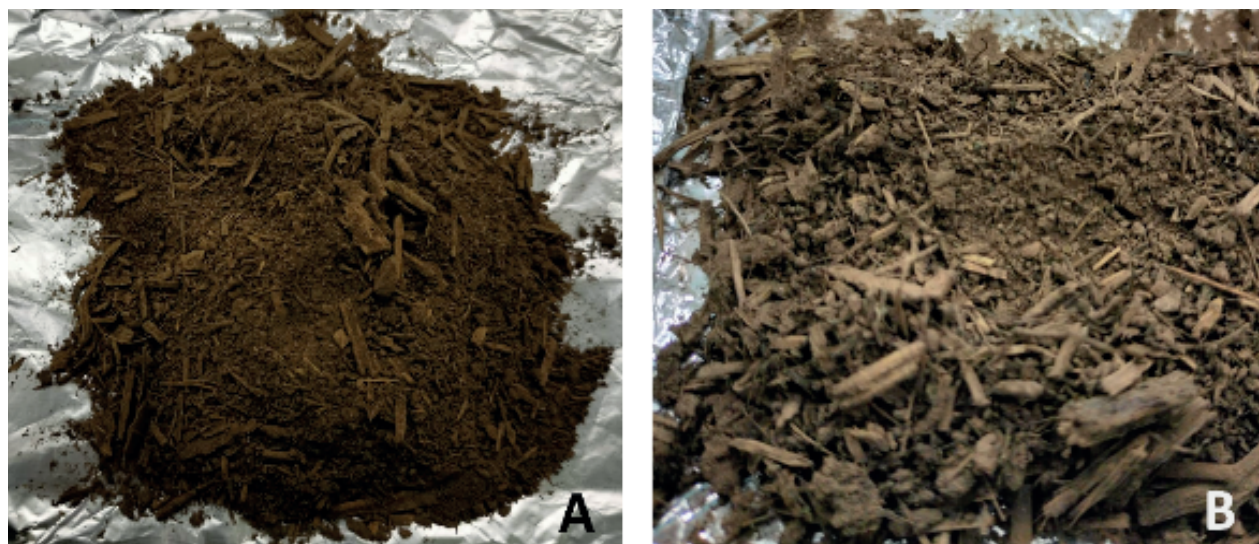
Note. The weights shown correspond to those without adding 30% moisture; Honest Minimum Significant Difference DMHS (by its Spanish abbreviation); Groups with the same letter between columns do not represent a significant difference ($P < 0.05$) in the Tukey mean comparison test; ± Standard error calculated.

Nota. Los pesos mostrados corresponden a aquellos sin adicionar el 30 % de humedad; DMSH Diferencia Mínima Significativa Honesta; Grupos con la misma letra entre columnas no representan diferencia significativa ($P < 0.05$) en la prueba de comparación de medias Tukey; ± Error estándar calculado.

Figura 1. Comparison of total biomass performance between treatments.**Figura 1. Comparación del rendimiento de biomasa total entre tratamientos.**

Note. The higher yield in anaerobic treatment reflects a lower decrease in biomass, which helps to confirm slower mineralization. Authors' self-made, 2024.

Nota. El mayor rendimiento en el tratamiento anaerobio refleja una menor disminución de biomasa, lo que ayuda a confirmar una mineralización más lenta. Elaboración propia, 2024.

Figure 2. Compost obtained from aerobic (A) and anaerobic (B). Authors' self-made, 2024.**Figura 2. Compost obtenidos de fermentadores aerobios (A) y anaerobios (B). Elaboración propia, 2024.**

Note. TAM results are congruent with those observed in the microbial respiration rate and presented below.

Nota. Los resultados de la TAM son congruentes con lo observado en la tasa de respiración microbiana y se presentan enseguida.

guish some initial components of the mixtures) fungi and bacteria predominate, whose main function is to degrade lignocellulosic organic compounds.

This degradation favors the proliferation of colonies that in turn generate stable complexes between clays and organic matter through the action of polysaccharides (Garzón et al., 2022; Umer & Rajab, 2012) that culminate in the formation of aggregates and porous spaces that together improve the physical properties of the compost (Kumar et al., 2020).

A detailed description of the microorganisms involved in the fermentation process is complex, as populations and communities constantly changing according to the evolution of factors such as temperature, nutrients, oxygen, water content, and pH. According to different studies, metabolic activity primarily focuses on bacteria and filamentous fungi. In general, bacteria are the most abundant group, comprising the phyla *Proteobacteria*, *Firmicutes*, *Actinobacteria*, and *Bacteroidetes*, followed by fungi, primarily the phylum *Ascomycota* (Laich, 2011; Rosario & Eduardo, 2021). On the other hand, in anaerobic processes the predominant microorganisms are bacteria and yeasts, which promote the formation of micropores.

In addition, different species such as *Streptomyces albogriseolus* and *S. thermovulgaris*, thermophilic actinomycetes, have been frequently isolated from fermentation and composting processes, linking their presence to their thermotolerance (Chen et al., 2013).

Absolute rate of mineralization (TAM)

Regarding the mineralization rate, weekly values were averaged and graphed (Figure 3). The results indicate that the TAM in the aerobic reactors was approximately double compared to the anaerobic reactors during day 14 ($1.62 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ for aerobes versus $0.70 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ for anaerobes). However, by day 70 this condition was reversed due to an error in the sealing of the reactors, which when corrected returned the trend to the initial behavior, obtaining a difference of $0.03 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ of compost between the treatments (significant difference $0.024 < 0.05$).

In both treatments, a similar behavior to that observed by Carvajal-Flores et al. (2024) was observed, where a higher TAM during the first three weeks of the fermentation process is directly related to the greater availability of food for the microorganisms, then, the carbonaceous organic matter is oxidized into CO_2 and nitrogen is transformed into nitrates, slowing down the process and generating lower TAM.

mientos, donde los reactores aerobios obtuvieron un promedio de $58.99 \pm 10 \text{ g}$, mientras que el tratamiento anaerobio mostró un rendimiento promedio mayor con $79.64 \pm 9.6 \text{ g}$. Este resultado sugiere que el tratamiento anaerobio perdió menos biomasa en comparación con el tratamiento aerobio (Figura 1), confirmando que la mineralización ocurre más lenta que en fermentadores anaerobios (Bernal et al., 2009).

Por otro lado, se pudo observar que los fermentadores aerobios tendieron a producir un compost de mayor calidad en términos de estructura, es decir, las mezclas fermentadas en reactores aerobios eran visualmente menos compactas y al tacto, se percibían mullidas en cuanto salieron de la estufa en comparación con las fermentadas en reactores anaerobios (Figura 2). Esto pudo deberse a la configuración de los consorcios microbianos que se favorecieron durante los procesos de fermentación, pues según estudios de Vásquez Castro & Millones (2021) en procesos de compostaje aerobio, durante las etapas iniciales y mesofílicas (identificadas porque en ellas aún es posible distinguir algunos componentes iniciales de las mezclas) priman los hongos y bacterias, los cuales tienen como principal función degradar compuestos orgánicos lignocelulósicos.

Esta degradación favorece la proliferación de colonias que a su vez generan complejos estables entre las arcillas y la materia orgánica por la acción de los polisacáridos (Garzón et al., 2022; Umer & Rajab, 2012) que culminan en la formación de agregados y espacios porosos que en conjunto mejoran las propiedades físicas del compost (Kumar et al., 2020).

La descripción detallada de los microorganismos involucrados en el proceso de fermentación resulta compleja, ya que las poblaciones y comunidades cambian constantemente según la evolución de factores como la temperatura, los nutrientes, el oxígeno, el contenido de agua y el pH. De acuerdo con diferentes estudios, la actividad metabólica principalmente se centra en bacterias y hongos filamentosos. En general, las bacterias son el grupo más abundante, abarcando los Phyla *Proteobacterias*, *Firmicutes*, *Actinobacterias* y *Bacteroidetes*, seguido por los hongos, principalmente el phylum *Ascomycota* (Laich, 2011; Rosario & Eduardo, 2021). Por otro lado, en procesos anaerobios los microorganismos predominantes son bacterias y levaduras, mismos que favorecen la formación de microporos.

En adición, distintas especies como *Streptomyces albogriseolus* y *S. thermovulgaris*, actinomicetos termófilos, han sido frecuentemente aislados de procesos de fermentación y composta, vinculando su presencia a su termotolerancia (Chen et al., 2013).

Additionally, in the anaerobic reactors, an earlier stabilization in the degradation of organic matter was recorded, reaching this stage on day 91 of the incubation process (Figure 3). The earlier stabilization in anaerobic reactors can be attributed to the accumulation of decomposition products that are not completely mineralized in the absence of oxygen (Narihiro & Sekiguchi, 2007), which, together with the lack of the substrate movement, resulted in a reduction in the availability of food for microorganisms (Carvajal-Flores et al., 2024) and therefore, in a decrease in the loss of biomass in anaerobic samples already mentioned in the previous section.

This finding suggests a faster and more efficient decomposition of organic matter under aerobic conditions (Schaub & Leonard, 1996), possibly due to increased microbial activity facilitated by the availability of oxygen (Bernal et al., 2009) and the weekly turnover of the substrate, which redistributed food for the microorganisms, favoring their proliferation. This result is relevant for applications where rapid volume reduction and transformation of waste into usable compost is required. However, a high rate of mineralization can also lead to the volatilization of nutrients, especially

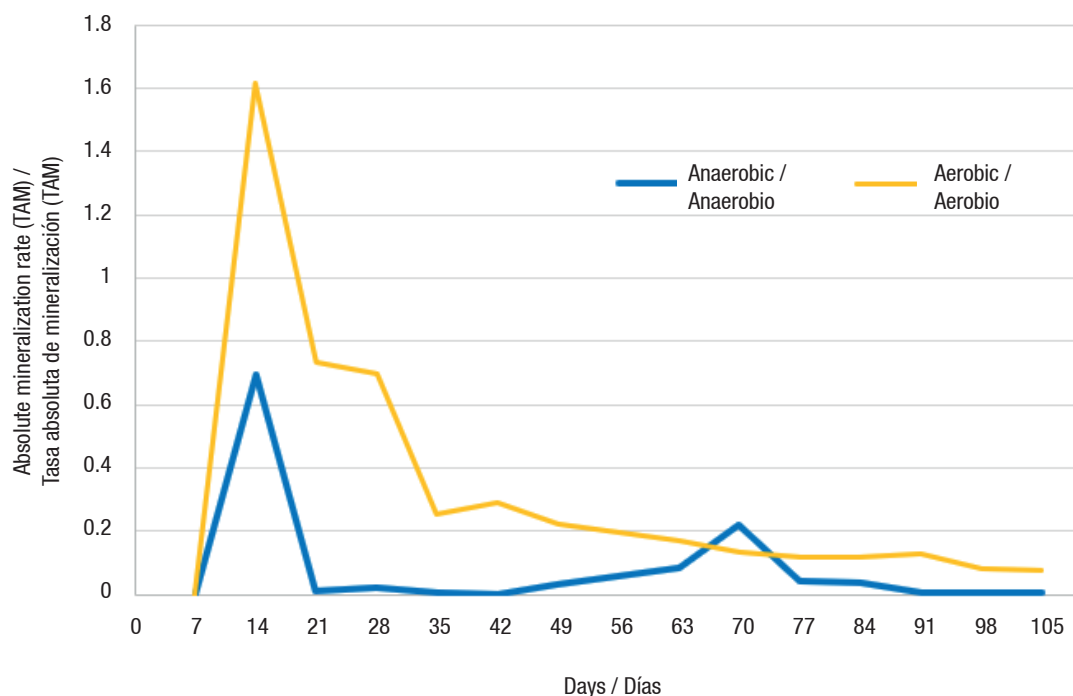
Tasa absoluta de mineralización (TAM)

En cuanto a la tasa de mineralización se obtuvieron valores semanales que se promediaron y graficaron (Figura 3). Los resultados indican que la TAM en los reactores aerobios fue aproximadamente el doble en comparación con los reactores anaerobios durante el día 14 ($1.62 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ para aerobios contra $0.70 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ para anaerobios). Sin embargo, para el día 70 esta condición se invirtió debido a un error en el sellado de los reactores, el cual al ser corregido regresó la tendencia al comportamiento inicial obteniéndose una diferencia de $0.03 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ de compost entre los tratamientos (diferencia significativa $0.024 < 0.05$).

En ambos tratamientos se observa un comportamiento similar al observado por Carvajal-Flores et al. (2024) donde una mayor TAM durante las tres primeras semanas del proceso de fermentación se relaciona directamente con la mayor disponibilidad de alimento para los microorganismos, luego, la materia orgánica carbonácea se oxida en CO_2 y el nitrógeno se transforma en nitratos, ralentizando el proceso y generando TAM menores.

Figure 3. Evolution of organic matter degradation over a 105 day incubation period.

Figura 3. Evolución de la degradación de materia orgánica en un lapso de incubación de 105 días.



Source: Authors' self-made, 2024.

Fuente: Elaboración propia, 2024.

nitrogen (Bernal et al., 2009; Narihiro & Sekiguchi, 2007), which may not be desirable as it would limit its availability and result in a compost with poor nutrition.

In contrast, anaerobic fermenters showed a lower mineralization rate, suggesting a slower decomposition, but with a more sustained release of nutrients that could lead to obtaining compost with higher availability of these for vegetables, as well as a lower release of carbon and greenhouse gases to the environment (Peñalosa-Bernal & Ossa-Carrasquilla, 2023).

Microbial respiration rate (TRM)

CO₂ emissions are a direct indicator of microbial activity and the decomposition of organic matter (Insam & Bertoldi, 2007) this principle is the basis for calculating the TRM, where it is considered that the CO₂ trapped in the alkaline traps neutralizes the NaOH they contain, generating lower HCl costs during titration, therefore, the higher the TRM value, the lower the amount of carbon released (Guerrero-Ortíz et al., 2012). This rate indirectly reflects the difference in atmospheric carbon fixed by microorganisms during the fermentation process between the reactors evaluated.

According to the data obtained and represented in the Figure 4, it was observed that the TRM was higher in anaerobic reactors compared to aerobic reactors. This indicates that the anaerobic treatment accumulated more atmospheric carbon fixed by microorganisms during the mineralization process.

The evolution of the Microbial Respiration Rate (TRM) showed significant differences ($0.014 < 0.05$) between anaerobic and aerobic reactors throughout the observation period, being higher in anaerobic reactors. Throughout the incubation period, anaerobic reactors exhibited a significantly higher TRM than aerobic reactors. Although aerobic reactors experienced a peak in their TRM around day 28, it did not exceed the levels reached by anaerobic reactors.

From the fifth week until the end of the experiment, the TRM under anaerobic conditions remained consistently higher than that observed under aerobic conditions. However, it is important to note that both types of reactors showed a general tendency toward decreased respiration rates over time. This dynamic suggests more intense and sustained microbial activity at the beginning of fermentation, with an eventual reduction in both systems as the fermentation process progressed.

Related to this, the microbial respiration rate (MRR) in anaerobic fermenters was higher, this is because, in this treatment, it is common for more carbon to accumulate

Adicionalmente, en los reactores anaerobios, se registró una estabilización más temprana en la degradación de materia orgánica, alcanzando este estadio en el día 91 del proceso de incubación (Figura 3). La estabilización anticipada en los reactores anaerobios puede atribuirse a la acumulación de productos de descomposición que no se mineralizan completamente en ausencia de oxígeno (Narihiro & Sekiguchi, 2007), lo cual aunado a la falta de movimiento del sustrato, resultó en una reducción en la disponibilidad de alimento para los microorganismos (Carvajal-Flores et al., 2024) y por lo tanto, en una disminución en la pérdida de biomasa en las muestras anaerobias ya mencionada en el apartado anterior.

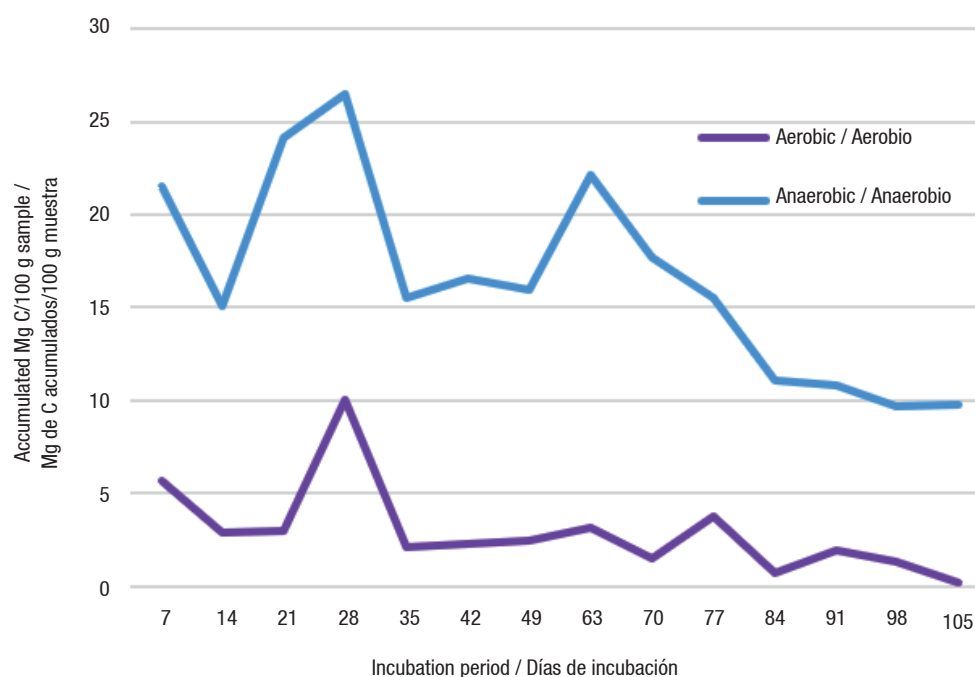
Este hallazgo sugiere una mayor rapidez y eficiencia en la descomposición de la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas (Schaub & Leonard, 1996), posiblemente debido a la mayor actividad microbiana facilitada por la disponibilidad de oxígeno (Bernal et al., 2009) y el movimiento de sustrato semanal, el cual redistribuyó el alimento para los microorganismos favoreciendo su proliferación. Este resultado es relevante para aplicaciones donde se necesita una rápida reducción de volumen y transformación de los residuos en compost utilizable. Sin embargo, una alta tasa de mineralización también puede conllevar la volatilización de nutrientes, especialmente de nitrógeno (Bernal et al., 2009; Narihiro & Sekiguchi, 2007) lo cual podría no ser deseable pues limitaría su disponibilidad y derivaría en un compost poco nutritivo.

En contraste, los fermentadores anaerobios mostraron una tasa de mineralización menor, lo que sugiere una descomposición más lenta, pero con una liberación más sostenida de nutrientes que podría llevar a obtener compost con mayor disponibilidad de estos para vegetales, así como una menor liberación de carbono y gases de efecto invernadero al ambiente (Peñalosa-Bernal & Ossa-Carrasquilla, 2023).

Tasa de respiración microbiana (TRM)

Las emisiones de CO₂ son un indicador directo de la actividad microbiana y la descomposición de la materia orgánica (Insam & Bertoldi, 2007) este principio es la base para el cálculo de la TRM, donde se considera que el CO₂ atrapado en las trampas alcalinas neutraliza el NaOH que contienen, generando menores gastos de HCl durante la titulación, por lo que, a mayor valor de la TRM menor cantidad de carbón liberado (Guerrero-Ortíz et al., 2012). Esta tasa refleja de forma indirecta la diferencia de carbono atmosférico fijado por los microorganismos durante el proceso de fermentación entre los reactores evaluados.

De acuerdo con los datos obtenidos y representados en la Figura 4, se observó que la TRM fue mayor en los reactores anaerobios en comparación con los reactores

Figure 4. Comparison of CO₂ release over an incubation period of 105 days.**Figura 4. Comparación del desprendimiento de CO₂ en un lapso de incubación de 105 días.****Source:** Authors' self-made, 2024.**Fuente:** Elaboración propia, 2024.

in the form of organic compounds, because the lack of oxygen limits microbial respiration and, therefore, the release of carbon in the form of CO₂ (Lorenzo & Obaya, 2005).

In contrast, in aerobic systems, carbon is rapidly metabolized during microbial respiration and released primarily as carbon dioxide, which explains the lower TRM accumulation observed.

Thus, the higher accumulation of carbon in anaerobic systems suggests that these fermenters retain more organic matter, possibly as more resistant intermediates or linkages, whereas aerobic systems tend to be more efficient at releasing carbon as carbon dioxide, which means there is more decomposition of organic compounds.

Although the microorganisms present in this fermentation were not identified, it is shown that aerobic conditions favored the proliferation of certain organisms, which carried out the fermentation process more efficiently. This was achieved by measuring the transformation of organic matter and carbon accumulation, without focusing on the microorganisms present. This demonstrates that both fermentations began with the same variables, including the initial microbial composition.

aerobios. Esto indica que el tratamiento anaerobio acumuló más carbono atmosférico fijado por los microorganismos durante el proceso de mineralización.

La evolución de la Tasa de Respiración Microbiana (TRM) mostró diferencias significativas ($0.014 < 0.05$) entre los reactores anaerobios y aerobios a lo largo del período de observación, siendo superior en reactores anaerobios. Durante todo el lapso de incubación, los reactores anaerobios exhibieron una TRM notablemente superior a la de los aerobios. Aunque los reactores aerobios experimentaron un pico en su TRM alrededor del día 28, esta no llegó a superar los niveles alcanzados por los reactores anaerobios.

A partir de la quinta semana y hasta el final del experimento, la TRM en condiciones anaerobias se mantuvo consistentemente por encima de la observada en condiciones aerobias. No obstante, es importante señalar que ambos tipos de reactores mostraron una tendencia general a la disminución de la tasa de respiración conforme avanzaba el tiempo. Esta dinámica sugiere una actividad microbiana más intensa y sostenida al inicio de la fermentación, con una eventual reducción en ambos sistemas a medida que el proceso de fermentación progresaba.

pH

The pH values obtained for both treatments are classified as moderately alkaline according to the Letelier's (1967) classification (Table 3). This suggests that the type of treatment (aerobic or anaerobic) does not significantly affect pH levels in the solid-state fermentation process for compost.

Moderately alkaline pH is representative of the thermophilic and mesophilic stages of composting processes and occurs due to the conversion of nitrogen into ammonia by organisms (Meena et al., 2021), so the results observed in the treatments indicate that both are in this stage. However, a limitation of the study is the lack of analysis of nutrient content such as N, P, and K, which could provide a more complete picture with more variables to study.

Future research should consider these variables to obtain more accurate and applicable results in different contexts. In addition, it would be beneficial to investigate how different types of waste affect the FES process and the quality of the final compost. For example, the inclusion of nitrogen or carbon rich waste could have significant effects on the decomposition rate and nutritional quality of the compost.

Conclusions

This study compared aerobic and anaerobic fermenters for the production of compost from local waste. The results indicate that aerobic fermenters have a higher biomass performance and faster organic matter decomposition, as well as lower levels of carbon sequestration, the latter due to its transformation into CO₂. In contrast, the anaerobic treatment showed slower mineralization and higher biomass retention.

In this study, a detailed overview of the differences and advantages of aerobic and anaerobic fermentation methods is provided, giving a broad overview of the

Relacionado a esto, la tasa de respiración microbiana (TRM) en los fermentadores anaerobios resultó más alta, esto debido a que, en este tratamiento, es común que se acumule más carbono en forma de compuestos orgánicos, debido a que la falta de oxígeno limita la respiración microbiana y, por ende, la liberación de carbono en forma de CO₂ (Lorenzo & Obaya, 2005).

Por el contrario, en los sistemas aeróbicos, el carbono se metaboliza rápidamente durante la respiración microbiana y se libera principalmente como dióxido de carbono, lo que explica la menor acumulación (TRM) observada.

De esta manera, la mayor acumulación de carbono en el sistema anaeróbico sugiere que estos fermentadores retienen más materia orgánica, posiblemente como intermediarios o enlaces más resistentes, mientras que los sistemas aeróbicos tienden a ser más eficientes a la hora de liberar carbono en forma de dióxido de carbono, lo que significa que hay más descomposición de compuestos orgánicos.

A pesar de que no se identificaron los microorganismos presentes en esta fermentación, se muestra que las condiciones aerobias favorecieron la proliferación de ciertos organismos, que realizaron el proceso de fermentación de una forma más eficiente. Esto midiendo la transformación de la materia orgánica y la acumulación de carbono, sin centrarse en los microorganismos presentes. Fundamentando que ambas fermentaciones comenzaron con las mismas variables, incluida la composición microbiana inicial.

pH

Los valores pH obtenidos para ambos tratamientos se clasifican como moderadamente alcalinos según la clasificación de Letelier (1967) (Cuadro 3). Esto sugiere que el tipo de tratamiento (aerobio o anaerobio) no afecta significativamente los niveles de pH en el proceso de fermentación en estado sólido para compost.

Table 3. pH values in different treatments.
Cuadro 3. Valores de pH en diferentes tratamientos.

Treatment / Tratamiento	pH
Anaerobic / Anaerobio	7.40 ± 0.2 a*
Aerobic / Aerobio	7.63 ± 0.73 a

Note.* Means with the same letter between columns do not denote significant differences ($P < 0.05$), using Tukey's mean comparison test.
Nota. * Medias con la misma letra entre columna no denotan diferencias significativas ($P < 0.05$), mediante test de comparación de medias de Tukey.

characteristics and performance of each treatment type. Thus, the choice of the appropriate method will depend on the specific objectives of the fermentation process, either rapid decomposition and volume reduction or gradual and sustained nutrient release.

End of English version

References / Referencias

- Ansorena Miner, J. (1994). *Sustratos: propiedades y caracterización*. Mundi-Prensa.
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444-5453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
- Carvajal Flórez, E., Suárez Higuera, K., & Clavijo Rodríguez, L. V. (2024). Pacas Biodigestoras para la Transformación de Residuos Orgánicos y Material Vegetal en una Institución Universitaria de Educación Superior. *Revista EIA*, 21(41), Reia4108. pp. 1-19. <https://doi.org/10.24050/reia.v21i41.1728>
- Castro-Martínez, O. R., Velázquez-Cigarroa, E., & Tello-García, E. (Ed.) (2020). Educación ambiental y cambio climático. Repercusiones, perspectivas y experiencias locales. *Universidad Autónoma Chapingo*. Recuperado el 05 de abril del 2024 de <https://omp.siea.org.mx/omp/index.php/omp/catalog/view/4/85/129>
- Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., Gea, T., & Sánchez, A. (2017). Composting of food wastes: Status and challenges. *Bioresource Technology*, 248, 57-67. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.133>
- Chen, T. T., Wang, L. F., Wang, O., & Han, J. R. (2013). Isolation and identification of thermophilic actinomycetes in asparagus old stem compost. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 1, 40-45.
- Farinas, C. S. (2015). Developments in solid-state fermentation for the production of biomass-degrading enzymes. *Biochemical Engineering Journal*, 102, 198-208. <https://doi.org/10.1016/j.bser.2015.07.092>
- Garzón Marín, I., Cruz, E. C., Infante, A., & Cuervo, J. L. (2022). Efecto del compost de residuos de flores sobre algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Acta Agronómica*, 71(2), 111-118. <https://doi.org/10.15446/acag.v71n2.88900>
- Guerrero-Ortiz, P. L., Quintero-Lizaola, R., Espinoza-Hernández, V., Benedicto-Valdés, G. S., de M., Guerrero-Ortiz, P. L., Quintero-Lizaola, R., Espinoza-Hernández, V., Benedicto-Valdés, G. S., & de, M. (2012). Respiración de CO₂ como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de lupinus. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 355-362. https://www.scielo.org.mx/scielo.Php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792012000400355&lng=es&nrm=iso
- Insam, H., & De Bertoldi, M. (2007). Microbiology of Composting Process. In: Diaz, L.F., de Bertoldi, M., Bidlingmaier, W. and Stentiford, E., Eds., *Compost Science and Technology, Waste Management Series*, Elsevier Science. [https://doi.org/10.1016/S1478-7482\(07\)80006-6](https://doi.org/10.1016/S1478-7482(07)80006-6)

El pH moderadamente alcalino es representativo de las etapas termofílicas y mesofílicas en procesos de compostaje y ocurre debido a la conversión de nitrógeno en amoníaco por los organismos (Meena, et al., 2021), por lo que los resultados observados en los tratamientos indican que ambos se encuentran en dicha etapa. Sin embargo, una limitación del estudio es la falta de análisis del contenido de nutrientes como el N, P y K, lo cual podría proporcionar una visión más completa y con más variables para estudiar.

Futuras investigaciones deberían considerar estas variables para obtener resultados más precisos y aplicables en diferentes contextos. Además, sería beneficioso investigar cómo diferentes tipos de residuos afectan el proceso de FES y la calidad del compost final. Por ejemplo, la inclusión de residuos ricos en nitrógeno o carbono podría tener efectos significativos en la tasa de descomposición y en la calidad nutricional del compost.

Conclusiones

En este estudio se compararon fermentadores aerobios y anaerobios para la producción de abonos orgánicos a partir de residuos locales. Los resultados indican que los fermentadores aerobios presentan un mayor rendimiento de biomasa, así como una descomposición de materia orgánica más rápida, al igual que niveles bajos de captura de carbono, esto último debido a su transformación en forma de CO₂. En contraste, el tratamiento anaerobio mostró una mineralización más lenta y una mayor retención de biomasa.

En este estudio, se proporciona una visión detallada de las diferencias y ventajas de los métodos de fermentación aerobios y anaerobios brindando un panorama amplio de las características y rendimiento de cada tipo de tratamiento. De esta manera, la elección del método adecuado dependerá de los objetivos específicos del proceso de fermentación, ya sea una rápida descomposición y reducción de volumen o una liberación gradual y sostenida de nutrientes.

Fin de la versión en español

- Kumar, Y., Kaushal, D., Kaur, G., & Gulati, D. (2020). Effect of soil organic matter on physical properties of soil. *Just Agriculture*, 1(2), 25-30. Recuperado el 20 de mayo del 2024 de https://www.researchgate.net/publication/360560644_Effect_of_soil_organic_matter_on_physical_properties_of_soil
- Laich, F. (2011). *El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje*. Unidad de Microbiología Aplicada, Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. Recuperado el 14 de abril del 2024 de <https://goo.su/crj3C>

- Letelier, A. E. (1967). *Manual de fertilizantes para Chile*. Banco del Estado. Santiago de Chile. 138 p.
- Lorenzo Acosta, Y., & Obaya Abreu, M. C. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, XXXIX(1), 35-48.
- Mata-Alvarez, J., Macé, S., & Llabrés, P. (2000). Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology*, 74(1), 3-16. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00023-7)
- Meena, A. L., Karwal, M., Dutta, D., & Mishra, R. P. (2021). Composting: Phases and factors responsible for efficient and improved composting. *Agriculture and Food: e-Newsletter*, 3(1), 85-90. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13546.95689>
- Mitchell, D. A., Berovic, M., & Krieger, N. (2006). *Solid-state fermentation bioreactors: Fundamentals of design and operation*. Springer Science & Business Media.
- Narihiro, T., & Sekiguchi, Y. (2007). Microbial communities in anaerobic digestion processes for waste and wastewater treatment: a microbiological update. *Current Opinion in Biotechnology*, 18(3), 273-278. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2007.04.003>
- Pandey, A. (2003). Solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 13(2-3), 81-84 [https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(02\)00121-3](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(02)00121-3)
- Pandey, A., Soccol, C. R., & Mitchell, D. (2000). New developments in solid-state fermentation: I-bioprocesses and products. *Process Biochemistry*, 35(10), 1153-1169. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(00\)00152-7](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(00)00152-7)
- Pandey, A., Soccol, C. R., & Mitchell, D. (2017). New developments in solid-state fermentation: II. Rational approaches to the design of bioreactors. *Process Biochemistry*, 42(8), 1203-1212.
- Pastrana, L. (1996). Fundamentos de la fermentación en estado sólido y aplicación a la industria alimentaria. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 1(3), 4-12. <https://doi.org/10.1080/11358129609487556>
- Peñalosa-Bernal, J. P., & Ossa-Carrasquilla, L. C. (2023). Estimación de gases de efecto invernadero emitidos por la paca biodigestora durante el tratamiento de residuos orgánicos. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 3(1), 55-69. <https://doi.org/10.5154/r.rchsagt.2023.03.05>
- Rosario, E., & Eduardo, C. (2021). Una revisión sobre la diversidad microbiana y su rol en el compostaje aerobio. *Aporte Santiaguino*. <https://doi.org/10.32911/as.2021.v14.n2.822>
- Ruíz-Leza, H. A., Rodríguez-Jasso, R. M., Rodríguez-Herrera, R., Contreras-Esquivel, J. C., & Aguilar, C. N. (2007). Diseño de biorreactores para fermentación en medio sólido. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 6(1), 33-40. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.
- Schaub, S. M., & Leonard, J. J. (1996). Composting: An alternative waste management option for food processing industries. *Trends in Food Science & Technology*, 7(8), 263-268. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(96\)10029-7](https://doi.org/10.1016/0924-2244(96)10029-7)
- Singhania, R. R., Patel, A. K., Soccol, C. R., & Pandey, A. (2009). Recent advances in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 44(1), 13-18. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.10.019>
- Smith, J., & Brown, P. (2020). Fermentación en estado sólido: Comparación de sistemas aerobios y anaerobios. *Journal of Fermentation Science*, 45(2), 123-135.
- Tejeda-Mansir, A., Montesinos-Cisneros, R. M., Guzmán-Zamudio, R. (2011). Bioseparaciones. Pearson Educación. México. 704 pág.
- Thomas, L., Larroche, C., & Pandey, A. (2013). Current developments in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 81, 146-161. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2013.10.013>
- Tiquia, S. M. (2005). Microbiological parameters as indicators of compost maturity. *Journal of Applied Microbiology*, 99(4), 816-828. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02673.x>
- Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A., & Itävaara, M. (2000). Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technology*, 72(2), 169-183. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00104-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00104-2)
- Umer, M. I., & Rajab, S. M. (2012). Correlation between aggregate stability and microbiological activity in two Russian soil types. *Eurasian Journal of Soil Science*, 1, 45-50. Recuperado el 22 de marzo del 2024 de <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/62778>
- Vásquez Castro, E. R., & Millones Chanamé, C. E. (2021). Una revisión sobre la diversidad microbiana y su rol en el compostaje aerobio. *Aporte Santiaguino*, 14(2), pág. 253-275. <https://doi.org/10.32911/as.2021.v14.n2.822>



EN

The social structure of the cheese factory/cheesemaking industry in Acatlán, Hidalgo, Mexico

ES

El entramado social de la quesería en Acatlán, Hidalgo, México

González Montes Silvia Sandra¹; Pérez Olvera Ma. Antonia^{1*};
Hernández Sánchez David²; Pimentel Equihua José Luis¹

¹Colegio de Postgraduados, Posgrado en Agroecología y Sustentabilidad, km 38.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. C. P. 56264.

²Colegio de Postgraduados, Posgrado en Ganadería, km 38.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Edo. de México, C. P. 56264.

*Corresponding author:

molvera@colpos.mx.

ORCID: 0000-0002-6408-8641

Received: January 10, 2025

Accepted: July 30, 2025

Published online:

September 24, 2025

Abstract

Acatlán is a territory rooted in dairy production and cheesemaking, which together contribute to its history and identity. Family production units (FPUs) are the origin and foundation of this food, produced through artisanal, semi-industrialized, and industrialized methods. The objective of this research was to identify and understand the integration of social dynamics in the cheesemaking process and their socio-cultural significance to promote and preserve them as local food heritage. A mixed-methods approach was used, employing tools from the Localized Agrifood Systems (SIAL) framework, including document review, participatory territorial mapping, interviews, and surveys. The results show that the social structure emerges from the interactions among participants within and beyond the FPU, forming networks that represent a model of local agroindustry. These findings confirm the importance of preserving or risking the loss of cheesemaking techniques in production, processing, distribution, and consumption, situating cheese as a cultural and historical symbol of Acatlán's identity. It is essential to recognize the value of interdisciplinary knowledge exchange derived from both linear and root-like relationships among participants, without overlooking local practices and know-how. The SIAL approach facilitated the integration of geographic, technical, and social elements.

Keywords: Social structure, dairy industry, food heritage, cheese, family production units.

Resumen

Acatlán, territorio de producción lechera y elaboración de quesos que le confieren historia e identidad. Las Unidades de Producción Familiar (UPF) son el origen y la base de este alimento, elaborado de forma artesanal, semi-industrializada e industrializada. El objetivo de esta investigación fue identificar y comprender la integración de las dinámicas sociales en la elaboración de queso y su trascendencia socio-cultural con el fin de valorizarlas y preservarlas como patrimonio alimentario local. La metodología fue mixta, utilizando herramientas de los Sistemas Agroalimentarios Localizados (SIAL) como: Revisión documental, mapeos participativos del territorio, entrevistas y encuestas. Los resultados muestran que la estructura social se genera a partir de las dinámicas ocurridas entre actores dentro y fuera de la UPF, constituyendo redes que constituyen un modelo de agroindustria local y confirman la relevancia en la conservación o pérdida de técnicas en elaboración o procesamiento, distribución y consumo, posicionando cultural e históricamente al queso, como parte de la identidad de Acatlán. Es pertinente reconocer el valor del intercambio de conocimiento multidisciplinar proveniente de las relaciones lineales y radicales de sus actores, sin minimizar la praxis y saber-hacer local. Los elementos del enfoque SIAL permitieron la integración de elementos geográficos, técnicos y sociales.

Palabras clave: Estructura social, industria lechera, patrimonio alimentario, queso, unidades de producción familiar.



Please cite this article as follows (APA 7): González Montes, S. S., Pérez Olvera M. A., Hernández Sánchez D., & Pimentel Equihua J. L. (2025). The social structure of the cheese factory/cheesemaking industry in Acatlán, Hidalgo, Mexico. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 5, e202510. doi: <https://doi.org/10.5154/r.chsat.2025.05.10>

Introduction

In Mexico, around 40 types of traditional cheeses are recognized, along with a similar number of foreign varieties, mostly from Europe (Chombo, 2008). These cheeses play key roles in both food consumption and the economy (Villegas de Gante & Cervantes Escoto, 2011). Cheesemaking began in colonial times within family production units (FPUs) as a way to use surplus milk. During the rainy season, people made and ate Mexican fresh cheese. In the dry season, they ate aged cheeses, preserved through fermentation and other techniques (Villegas et al., 2014).

Livestock and agricultural production became concentrated in rural areas as a consequence of urbanization and population growth, this led to increased demand for and movement of food products toward cities, encouraging the development of new dairy and meat products with extended shelf life (Rubio, 2001). In the 19th century, muleteers facilitated the distribution of these products to other communities and regions (Sánchez, 1984). Beginning in the 1950s, improvements in transportation infrastructure further enabled commercialization, strengthening the connections between rural and urban areas (Villegas et al., 2014).

The state of Hidalgo ranks thirteenth nationally in bovine milk production (Agri-Food and Fisheries Information System [SIAP], 2021). According to INEGI (2020), 30.83 % of the state's total manufacturing GDP comes from the food industry. For approximately 60 years, the state has been home to companies processing cheese and other dairy products, thereby strengthening the value chain and meeting the demands of both local consumers and those from nearby urban areas (Poméon et al., 2006; Cervantes et al., 2008). Today, Acatlán reflects an evolution in the food production model by incorporating new participants and constructing a Rural Agroindustry (AIR) framework.

Territorial Activation with a Localized Agrifood Systems (AT-SIAL) approach, as proposed by Boucher et al. (2006), enables the identification of territorial attributes and the food products associated with them. Cheese and its link to the territory of Acatlán could form a defined AT-SIAL system, shaped by the relationships, knowledge, and dynamics present within family production units that produce, transform, and market this food product. In this system, history, production practices, and cultural identity reinforce the economic and social dynamics of the territory (Kiss, 2024; Gobierno del Estado de Hidalgo, 2016; Salazar Sánchez, 2018).

The AT-SIAL methodology developed by Boucher (2006) facilitates the simultaneous analysis and integration

Introducción

En México se reconocen aproximadamente 40 tipos de quesos tradicionales y un número similar de variedades extranjeras, principalmente europeas (Chombo, 2008); con funciones alimentarias y económicas clave (Villegas de Gante & Cervantes Escoto, 2011). La elaboración comenzó, desde la época colonial, en unidades de producción familiar (UPF) para aprovechar excedentes de leche. En temporada de lluvias obtenían y consumían quesos frescos, mientras que en época de secas consumían quesos maduros producto de la fermentación y otras técnicas de conservación (Villegas et al., 2014).

La producción agropecuaria se concentró en zonas rurales como consecuencia de la urbanización y el crecimiento poblacional, esto provocó la demanda y movilización de productos alimenticios hacia las ciudades, promoviendo el desarrollo de nuevos productos lácteos y cárnicos con mayor vida de anaquel (Rubio, 2001). Durante el siglo XIX, los arrieros facilitaron la distribución de productos a otras comunidades o regiones (Sánchez, 1984). A partir de los cincuenta y con la mejora en las vías de comunicación, la comercialización se facilitó, fortaleciendo vínculos entre el campo y la ciudad (Villegas et al., 2014).

Hidalgo ocupa el treceavo lugar a nivel nacional en producción de leche bovina (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2021), de acuerdo con el INEGI, (2020) el 30.83 % del PIB total de la manufactura estatal proviene de la industria alimentaria. El Estado concentra a empresas que procesan queso y otros productos lácteos desde hace aproximadamente 60 años impulsando así la cadena de valor y atendiendo la demanda de consumidores locales y foráneos de zonas urbanas cercanas (Poméon et al., 2006; Cervantes et al., 2008). Acatlán muestra hoy en día una evolución dentro del modelo de producción alimentaria incorporando actores y construyendo un esquema de Agroindustria Rural (AIR).

La Activación Territorial con enfoque de Sistemas Agroalimentarios Localizados (AT-SIAL) de acuerdo con Boucher et al., (2006) permite identificar atributos del territorio y de un producto alimentario vinculado a él. El queso y su vínculo al territorio acatlense podrían conformar un sistema AT-SIAL definido y delimitado por las relaciones, el conocimiento y dinámicas presentes de las UPF que generan, transforman y comercializan un alimento; donde la historia, la producción e identidad cultural fortalecen las dinámicas económicas y sociales del territorio (Kiss, 2024; Gobierno del Estado de Hidalgo, 2016; Salazar Sánchez, 2018).

La metodología AT-SIAL desarrollada por Boucher (2006) propicia el análisis e integración de aspectos

of economic, cultural, and social aspects through tools that enable a historical narrative, identification of participants, specification of their dynamics, and interpretation of their influence on the production and commercialization of cheese as a local food, as well as the participants' perception of identity and socio-cultural relevance within the territory.

According to Villegas et al. (2012), cheese acquires specific qualities based on milk quality, production techniques, and geographic conditions. Espinosa et al. (2010), Frog (2006), Grass Ramírez et al. (2013), Villegas et al. (2012), and Villegas et al. (2014) applied the AT-SIAL framework to study and document local cheese varieties in different regions of the country. They concluded that cultural, territorial, and social factors influence the final product, and that these, in combination, define ingredients, processing methods, and both gastronomic and commercial value, thus providing scientific justification for the methodological approach. The objective of this study was to identify the participants involved in social dynamics, understand their role in cheese production practices, and analyze their socio-cultural significance to promote and preserve these attributes as part of the local food heritage.

Methodology

The AT-SIAL framework comprises four stages: initial stage, diagnostic stage, dialogue, and accompaniment. This research was limited to the use of the first two stages, as they enable the integration of information, identification of local participants, analysis of their interactions, and understanding of the contextual relevance of the territory. These stages also allow for the contributions from the exchange of know-how and cultural practices that contribute to heritage value and influence both individual and collective perceptions of identity, including that of cheese as a food product. The contributions were as follows: **1) Initial phase.** A synthesis of the local reality was developed through direct engagement in the territory of Acatlán. This included a territorial description, recovery of relevant historical data, and identification of key participants. The process involved reviewing archives, bibliographic sources, existing documents, and journalistic records from the region. **2) Diagnostic Phase.** A comprehensive overview of the Acatlán cheese production process was developed, allowing for the presentation of systematic and consistent results through the implementation of the following tools:

Territorial Mapping. Four transects were used: a) establishments selling livestock supplies, b) the milk collector's route, c) FPU's involved in livestock activities through to those engaged in transformation and pro-

económicos, culturales y sociales de forma simultánea mediante herramientas que permiten una narrativa histórica, identificar a los actores, puntualizar sus dinámicas e interpretar su influencia sobre la producción y comercialización del queso como un alimento local y la percepción de identidad o trascendencia socio-cultural territorial de los actores.

Villegas et al. (2012), describen que el queso adquiere cualidades debido a la calidad de la leche, las técnicas de elaboración y las condiciones geográficas; Espinosa et al., (2010); Frog (2006); Grass Ramírez et al., (2013), Villegas et al. (2012) y Villegas et al. (2014) aplicaron la AT-SIAL para estudiar y documentar variedades locales de queso en distintas regiones del país, y concluyen que hay influencia cultural, territorial y social en el producto final y, en combinación, éstas definen los ingredientes, formas de procesamiento, valores gastronómicos y comerciales; aportando sustento científico para la elección metodológica. El objetivo del trabajo fue identificar los actores que integran las dinámicas sociales, comprender su atribución en la forma de elaboración de los quesos y su trascendencia socio-cultural, con el fin de revalorizar y preservar estas atribuciones como patrimonio alimentario local.

Metodología

La AT-SIAL comprende cuatro etapas: preparativa, diagnóstica, diálogo y acompañamiento. Esta investigación se acotó al uso de las dos primeras etapas porque permiten integrar la información, identificar actores locales, sus interacciones y la relevancia contextual del territorio, así como recopilar aportaciones del intercambio del saber-hacer y prácticas culturales que dotan de un valor patrimonial e influyen la percepción identitaria de sus integrantes y del queso como un alimento. Los aportes fueron: **1) Fase preparativa.** Una síntesis de la realidad local basada en un *abordaje directo* aplicado en el territorio de Acatlán, mediante una descripción del territorio, recuperación de datos históricos relevantes e identificación de actores. Se efectuó la revisión de archivos, registros bibliográficos, documentales y periodísticos existentes de la zona. **2) Fase diagnóstica.** Se construyó el panorama integral del proceso productivo del queso acatlense, permitiendo la presentación de resultados sistemáticos y consistentes mediante la implementación de las siguientes herramientas:

Mapeo del territorio. Mediante cuatro transectos: a) establecimientos que venden insumos para el ganado, b) ruta del botero c) UPF con actividades ganaderas a UPF de transformación y procesamiento y d) UPF con venta directa y miscelaneas de queso, las cuales fueron georreferenciadas. Estas rutas fueron

cessing, and d) convenience stores and FPU involved in cheese processing and marketing. All points were georeferenced. These routes were complemented by *participatory mapping* of the production and commercialization system, carried out in collaboration with local participants.

Interviews and Non-Participant Observation. Data collection took place from June to September 2023. Thirteen participants, selected with the support of the municipal office, were interviewed: six cheese-processing FPUs, one milk collector, two cheese fair organizers, three local authorities, and one state-level authority. The interview script included ten questions focused on perceptions of identity associated with cheese, the history of the rural agroindustry (AIR), products made, connections between participants, destination of the cheese, production process, traditional knowledge, and product quality from the consumer's perspective. Testimonies were collected on the functioning of FPUs and production models. These were complemented with non-participant observation and photographic records. The cheesemaking process was documented, and a descriptive data sheet was compiled. The information was analyzed using thematic analysis, identifying emerging categories such as territorial identity, participant networks, traditional knowledge, commercialization dynamics, product perception, and sustainability. Data were organized into patterns of meaning and participant profiles.

Survey. The survey was conducted with 16 cheese-processing FPUs. Participation was voluntary and anonymous. A questionnaire consisting of 152 items in ten sections was applied covering the following data: general information (5), sociodemographic characteristics (8), organization within the FPU (20), livestock activity (9), milk productivity and quality (9), knowledge and practices related to cheesemaking (15), technologies and methods used in production (9), ingredients (2), varieties produced (3), target markets (6), and challenges faced (3). Data analysis was performed using Microsoft Excel® and SPSS® (descriptive statistical analysis and principal component analysis). QGIS was used to create maps.

Results

Results of the Initial and Diagnostic Phases

Members of the municipal offices of Livestock Development, Economic Development, and Ecology provided a 2022 census of FPUs engaged in livestock production or cheesemaking. Fifteen percent of the information was obtained from journalistic sources, including local

complementadas con el *Mapeo participativo* del sistema de producción y comercialización, realizado con la colaboración de los actores.

Entrevista y observación no participante: En la recolección de datos (jun-sep, 2023) se entrevistaron a 13 actores convocados por la representación municipal. Seis UPF procesadoras de queso, un botero, dos organizadores de la feria del queso, tres autoridades locales y una autoridad estatal. El guion de la entrevista fue de diez preguntas relacionadas con la percepción de la identidad asociada al queso, historia de la agroindustria rural (AIR), productos elaborados, vínculos entre actores, destino del queso, proceso de producción, saberes tradicionales y calidad del producto, desde la perspectiva de los consumidores. Se obtuvieron testimonios del funcionamiento de las UPF y modelos productivos, los cuales fueron complementados con observación no participante y registros fotográficos. Se documentó el proceso de elaboración de queso y mediante una ficha descriptiva. La información se analizó mediante análisis temático, identificando categorías emergentes como: identidad territorial, redes de actores, saberes tradicionales, dinámicas de comercialización, percepción del producto y sostenibilidad, organizando los datos en patrones de significado y los perfiles de participantes.

Encuesta. Se aplicó a 16 UPF procesadoras de queso. La participación fue voluntaria y anónima. Se aplicó un cuestionario con 152 ítems en diez secciones conteniendo datos: generales (5), sociodemográficos (8), organización dentro de la UPF (20), actividad pecuaria (9), productividad y calidad lechera (9), conocimientos y saberes de elaboración de queso (15), tecnologías y métodos aplicados en la producción (9), ingredientes (2), variedades elaboradas (3), mercados destino (6) y problemática (3). El análisis se realizó en Microsoft Excel® y SPSS® (análisis estadístico descriptivo y componentes principales). Se usó QGIS para la elaboración del mapa.

Resultados

Resultados de la etapa preparativa y diagnóstica

Los integrantes de Desarrollo Pecuario, Desarrollo Económico y Ecología, del municipio, proporcionaron un censo del año 2022 con actividades pecuarias y venta de leche o queso. El 15 % de la información se obtuvo mediante notas periodísticas, prensa local, redes sociales, planes estatales y municipales de desarrollo. El resto de la información con pobladores y actores de Acatlán. No se encontró cronista ni reseñas o acervo histórico municipal referente al tema.

newspapers, social media, and state and municipal development plans. The remaining information was gathered directly from residents and participants in Acatlán. No official chronicle, historical reviews, or municipal archives related to the topic were found.

Territorial Mapping. Using QGIS, cheese-processing FPU were georeferenced (Figure 1), which served as the basis for establishing the survey route.

The central area is located near the municipal seat and includes 20 FPU. At the time of the research, the northern area comprised 4 FPU identified in the locality of “La Peñuela”; however, local residents reported the existence of at least 12 FPU. The eastern area contained 14 FPU located along the geographic boundary between Acatlán and Tulancingo. The western area consisted of 14 FPU distributed across “Los Migueles” and “28 de Mayo,” the latter being more commonly known as “Santa Rosa.” An additional five unreported FPU were also identified.

Description of participants and schematic representation

a) *Cheese-Processing Production Units.* A total of 57 cheese-processing PUs were identified, confirm-

Mapeo del territorio. Mediante el uso de QGIS se geo-referenciaron las UPF procesadoras (Figura 1) que sirvió para establecer la ruta para la aplicación de la encuesta.

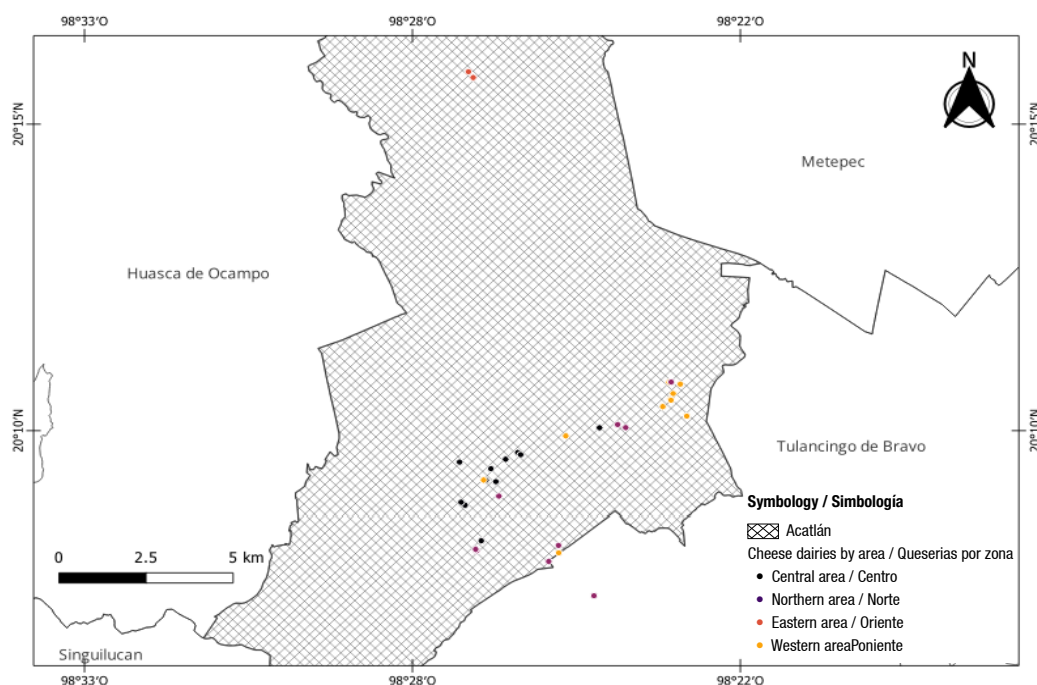
La zona centro se ubica en las cercanías de la cabecera municipal, incluye 20 UPF. La zona norte comprende, al momento de la investigación 4 UPF encontradas en la localidad “La Peñuela”; sin embargo, habitantes refieren al menos 12 UPF. La zona oriente concentró 14 UPF en límites geográficos entre Acatlán y Tulancingo y la zona poniente se integra por 14 UPF en: “Los Migueles” y “28 de mayo”, mejor conocida como “Santa Rosa”. Se localizaron cinco UPF más, no reportadas.

Descripción de actores y representación esquemática

a) *UPF procesadoras de queso.* Se encontraron 57 UPF procesadoras de queso y se confirma la zonificación de asentamiento y concentración. La Dirección de Desarrollo Agropecuario de Acatlán reporta que “las plantas queseras autorizadas por la administración local son alrededor de 50 que están concentradas en cuatro zonas: La peñuela, Santa Rosa, el centro y colindancias con Tulancingo”. Los resultados señalan que el 37 % de las unidades de estudio se ubican en la zona poniente; 31 % centro, 13 % norte, 13 %

Figure 1. Map of FPU located in Acatlán and their distribution by zone.

Figura 1. Mapa de las UPF localizadas en Acatlán y su distribución por zonas.



Source: Compiled by the authors based on fieldwork data (2024).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del trabajo de campo (2024).

ing the zoning patterns of settlement and concentration. According to the Agricultural Development Office of Acatlán, “the cheese facilities authorized by the local administration number approximately 50 and are concentrated in four zones: La Peñuela, Santa Rosa, the central area, and surrounding areas bordering Tulancingo”. The results indicate that 37 % of the study units are located in the western zone; 31 % in the central zone; 13 % in the northern zone; 13 % in the eastern zone; and 6 % are dispersed throughout the municipality. Each zone exhibits a distinct physical-environmental, economic, and social context, which is reflected in the FPU through their available resources; distribution of activities; the origin and quality of milk and raw materials; transformation processes; and the application of knowledge and technological integration (Figure 2).

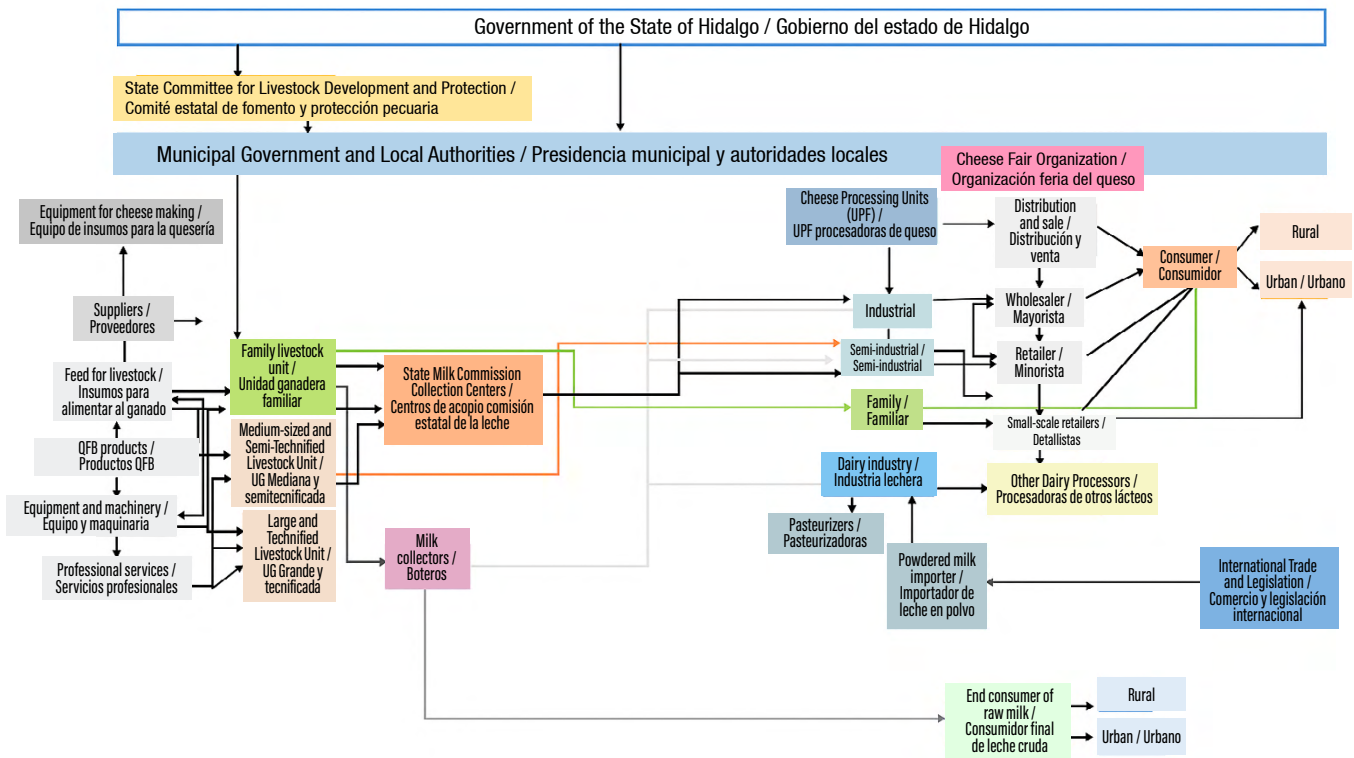
b) *Suppliers*. These include suppliers of equipment, inputs, materials, and goods; livestock feed; farm tools and equipment; pharmaceuticals and animal health

oriente y 6 % dispersas en el municipio. Cada una con un contexto, entorno físico-ambiental, económico y social diferente reflejado en las UPF, sus recursos; distribución de actividades; origen, calidad de la leche y materias primas; procesos de transformación y conocimientos e integración tecnológica aplicada (Figura 2).

b) *Proveedores de:* equipo, insumos, material y mercancía, alimento para ganado, herramientas y equipo para las granjas, fármacos y productos para la salud animal, herramientas y equipo para la quesería, materiales e insumos para la quesería y proveedores de queso. También ofertan servicios profesionales como médicos veterinarios y asesor o consultor para aquellas UPF dedicadas al procesamiento de lácteos que han requerido innovar o mejorar el proceso.

c) *Botero o lechero*. Persona que acopia la leche en las UPF y las transporta en carretas, camionetas o pipas a las queserías donde será transformada. Se identi-

Figure 2. Interactions among actors
Figura 2. Relaciones de los actores.



Source: Compiled by the authors based on field data (2024).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de campo (2024).

products; tools and equipment for cheesemaking; materials and supplies for cheese production; and cheese distributors. They also offer professional services such as veterinary care and consulting for those Production Units engaged in dairy processing that seek to innovate or improve their operations.

- c) *Milk collector*. This is the person responsible for collecting milk from the FPU and transports it—using wheel carts, pickup trucks, or tanker trucks—to the cheesemaking facilities where it will be processed. Eight collection routes were identified, involving approximately 140 milk collectors in total. Each FPU receives milk from at least three different collectors.
- d) *Collection centers*. These are designated physical facilities where milk is received, tested, and stored in cooling tanks. They are coordinated by the Comisión Estatal de leche in collaboration with associated producers. Three collection centers were identified as being in operation: Metepec II, two in the locality of “28 de Mayo” (“La Chispita” and “Asturias”), and “Centro de Acopio de Tortugas” located in the municipality of Metepec.
- e) *Convenience stores*. These are retail establishments that distribute and sell local cheeses as well as other commercial dairy products.
- f) *Distributors and sellers*. Several companies and organizations were identified that are responsible for transporting fluid milk in tanker trucks, as well as powdered milk, for cheese processing in the FPUs. Family members and close associates often supply milk or distribute cheese to local, regional, or national markets, including wholesale markets in Mexico City, Querétaro, and Puebla.
- g) *Municipal authorities*. These are actors that have promoted programs in support of agriculture, livestock, and agroindustry. They organize and promote the annual Cheese Expo-Fair, which highlights cultural, commercial, and economic activities and brings together approximately 24 FPUs that promote and sell their products to local consumers and visitors.
- h) *Consumers*. Consumers are categorized as either regular buyers or occasional visitors who attend the Expo-Fair. Visitor origin was as follows: 51 % came from rural areas, 36 % from urban areas, and 13 % from semi-urban areas. Key purchasing factors include recommendations from friends or family, brand reputation, and price. Of those surveyed, 44.4 % were residents of Acatlán, 28 % were from other municipalities in the state of Hidalgo, and

caron ocho rutas de recolecta con aproximadamente 140 boteros en total. Cada UPF recibe el producto de al menos tres boteros.

- d) *Centros de acopio*. Son espacios físicos habilitados para recibir, analizar y almacenar la leche en tanques de enfriamiento. Están coordinados por la Comisión Estatal de la leche, en organización con los productores asociados. Se identificaron tres centros de acopio en operación: Metepec II y dos en la localidad 28 de mayo (la Chispita y Asturias) y el Centro de Acopio de Tortugas del municipio de Metepec.
- e) *Tiendas de abarrotes*. Establecimientos de distribución y venta de quesos locales y otros productos lácteos comerciales.
- f) *Distribuidores y vendedores*. Se ubicaron empresas y organizaciones para transportar leche fluida en pipas y leche en polvo para el procesamiento del queso en las UPF. Los integrantes y familiares cercanos suelen proveer leche o distribuir el queso en mercados locales, regionales o nacionales como centrales de abasto en Ciudad de México, Querétaro y Puebla.
- g) *Autoridades municipales*. Actores que han impulsado programas en favor de la agricultura, ganadería y la agroindustria. Promueven la Expo Feria anual del queso donde se valoran las actividades cultural, comercial y económica que congrega alrededor de 24 UPF que publicitan y venden productos a consumidores locales y visitantes.
- h) *Consumidores*. Se dividen en permanentes y los que solo visitan la Expoferia. La procedencia de los visitantes es: 51 % provienen de zonas rurales, 36 % de zonas urbanas y 13 % zonas semiurbanas. Para la adquisición del queso consideran la recomendación de amigos o familiares, el prestigio y el precio. El 44.4 % de los asistentes fueron acatlenses, 28 % de municipios de Hidalgo y 26 % de otros estados (Edo-Mex y CdMx). El 93 % de los entrevistados destina el queso para consumo doméstico y el 2 % para negocios. El 46.7 % adquieren el queso directamente en la quesería, 42.2 % en tiendas locales o misceláneas y el resto en tiendas de autoservicio o especializadas.

Reconstrucción histórica y social del sistema agroalimentario local.

Testimonios señalan que en Acatlán la ganadería y elaboración de quesos ocurre desde hace un siglo, aunque el reconocimiento como agroindustria se formalizó hace 50 años aproximadamente. Originalmente, las UPF elaboraban queso para aprovechar los excedentes de leche y obtener derivados para el autoconsumo o venta

26 % came from other states (such as Estado de México and Mexico City). A total of 93 % of respondents purchase cheese for household consumption, while 2 % do so for business purposes. Regarding purchase location, 46.7 % buy cheese directly from the cheesemaking facility, 42.2 % from local grocery or convenience stores, and the remainder from supermarkets or specialty stores.

Historical and social reconstruction of the local agri-food system

Testimonies indicate that livestock farming, and cheese production have been practiced in Acatlán for over a century, although formal recognition as an agro-industry occurred approximately 50 years ago. Initially, the FPU's produced cheese to make use of surplus milk and to obtain dairy by-products for self-consumption or for sale in the local market. Between 1957 and 1985, improvements in transportation infrastructure (railways and highways) facilitated the distribution of cheese to urban areas and to Mexico City. The increase in cheese demand generated economic gains for producers and distributors, which led to a rise in the number of FPU's engaged in this activity. This, in turn, strengthened the Local Agroindustrial Network (AIR), standardized production processes, and encouraged the adoption of new cheese varieties and other dairy products with longer shelf life.

Territorial factors in the dynamics of cheese production in Acatlán

The productive and commercial dynamics of AIR in Acatlán have been shaped by geographical, climatic, and natural resource availability factors. These elements influence the timing of production, market behavior, and the strategies adopted by FPU's. a) *Environmental constraints*. The municipality's physiographic conditions are diverse—featuring ravines and rugged terrain, forests, grasslands, meadows, and forage crop fields. These variations result in significant differences in agricultural and livestock production, as well as in cheese processing activities, b) *Seasonal constraints*. Seasonal cycles often align with civic, religious, cultural festivities and holiday periods, which in turn impact food consumption patterns. Lent has been identified as the peak season for the consumption of fresh cheese, while the Christmas season sees increased demand for aged cheeses. c) *Sociocultural events that stimulated cheese production*. The establishment of haciendas in the region was the initial reference point for livestock rearing, milk production, and cheese-making, aimed at adding value and preserving dairy products. This initiated a learned or inherited dynamic that formed the basis of the local cheese-making culture, influenced by European traditions.

en el mercado local. Entre 1957-1985 hubo mejoras en las vías de comunicación (tren y carreteras) que facilitaron el desplazamiento del queso a zonas urbanas y CdMx. El incremento en la demanda del queso generó un margen económico para los productores y distribuidores aumentando el número de UPF en esta actividad, fortaleciendo la AIR, estandarizando procesos y adoptando variedades de queso y otros productos lácteos con mayor vida de anaquel.

Factores territoriales en la dinámica de la producción quesera de Acatlán

La dinámica productiva y comercial de la AIR en Acatlán ha sido influenciada por las condiciones geográficas, climáticas y la disponibilidad de recursos naturales. Estos factores determinan la temporalidad de la producción, el comportamiento del mercado y las estrategias adoptadas por las UPF. a) *Condicionantes ambientales*. Las condiciones fisiográficas del municipio son variadas (barrancas y terrenos accidentados, bosques, pastizales, praderas y cultivos forrajeros) con variaciones significativas en la producción agrícola y pecuaria y la transformación quesera, b) *Condicionantes estacionales*. Las estaciones suelen acoplarse a festividades cívicas, religiosas, culturales y periodos vacacionales que provocan cambios en el consumo alimentario. Se identificó la temporada de cuaresma como la de mayor consumo de queso fresco y la de navidad para el consumo de quesos maduros. c) *Eventos socioculturales que dinamizaron la producción quesera*. El asentamiento de haciendas en la zona fue el primer referente de crianza de ganado, producción de leche y elaboración de quesos para dar valor agregado y para su conservación, permitiendo una dinámica aprendida o heredada por la cultura quesera e influencia europea. La segunda debido a la tecnificación, donde se usaron modelos para replicar las técnicas de elaboración de queso, adaptándolas a variedades y procesos industriales.

La pandemia de COVID-19 provocó que la producción pecuaria e industria alimentaria pasara de una actividad tradicional y temporal a una producción permanente que requiere mantener producción durante todo el año, motivando la incorporación de innovaciones, tecnologías y maquinaria y contribuyendo al desarrollo sostenido en la producción y transformación de queso, la estandarización de procesos y la diversificación de productos.

El queso y la producción pecuaria

La disponibilidad y calidad de leche es diferente cuando la producción es propia o cuando se compra a terceros. Esta calidad repercute en el procesamiento, la elección de variedades de queso y las técnicas de conservación utilizadas (salado, ahumado, maduración,

The COVID-19 pandemic triggered a shift in livestock farming and the food industry in Acatlán, transforming it from a traditional and seasonal activity into a continuous production system that requires year-round operation. This change prompted the adoption of innovations, technologies, and machinery, contributing to sustained development in cheese production and processing, the standardization of procedures, and the diversification of products.

Cheese and livestock production

The availability and quality of milk vary depending on whether it is sourced from the producer's own livestock or purchased from third parties. This variability directly affects processing methods, the selection of cheese varieties, and the preservation techniques used (such as salting, smoking, or aging), all of which influence the shelf life of the product and its placement in specific market niches. Currently, two distinct profiles coexist within FPU: those who integrate traditional knowledge to preserve the authenticity and artisanal nature of cheese using rustic methods, and those who operate on an industrial scale to meet the growing market demand. This balance reflects both the cultural richness of the region and the contemporary challenges it faces—such as market restrictions, unfair competition, and shifting socioeconomic dynamics. The presence of lower-cost analog or substitute products threatens the Acatlán Local Agroindustrial Network (AIR), which has endured thanks to strategic relationships that provide structure, visibility, and resilience.

Social networks, territorial ties, and collective identity associated with cheese as a representative local product

The Local Agroindustrial Network (AIR) of Acatlán is shaped by the coexistence of various models within FPU. In all of them, social and commercial dynamics emerge from structural interdependence among the different actors involved in the value chain, from suppliers to consumers. This interdependence responds to multiple interests, most notably food provision, income generation, and the provision of cultural services that strengthen local identity. Social networks are neither homogeneous nor linear; rather, they diversify according to complex social, economic, and territorial dimensions. The ties established within the territory are based on economic relationships, forms of social organization, reciprocity, kinship, collaboration, and a sense of identity and belonging. Among the most notable of these are:

Family relationships: These are the result of socio-emotional attachment and territorial connectedness within the genealogical and familial dynamic. They foster processes of learning and the intergenerational transfer

etc.) y con ello la vida de anaquel para colocarlo en nichos de mercado específicos. Actualmente coexisten dos perfiles dentro de las UPF: Quienes integran conocimientos tradicionales para mantener la autenticidad, con procesos rústicos y genuinidad del queso y quienes de forma industrial satisfacen la creciente demanda del mercado. Este balance refleja la riqueza cultural del territorio y los desafíos contemporáneos (restricciones del mercado, competencia desleal y dinámicas socioeconómicas) pues al haber productos análogos o sustitutos de menor precio, ponen en riesgo a la AIR acatlense que se ha sostenido con relaciones estratégicas que le confieren estructura, visibilidad y resiliencia.

Redes sociales, vínculos territoriales e identidad colectiva asociada al queso como producto local representativo

La AIR acatlense se configura a partir de la coexistencia de diversos modelos de las UPF. En todos ellos, las dinámicas sociales y comerciales surgen de una interdependencia estructural entre los distintos actores que conforman la cadena de valor (proveedores hasta consumidores). Esta interdependencia responde a múltiples intereses, destacan la provisión de alimentos, la generación de ingresos y la oferta de servicios culturales que fortalecen la identidad local. Las redes sociales no son homogéneas ni lineales; se diversifican en función de dimensiones sociales, económicas y territoriales complejas. Los vínculos que se establecen en el territorio responden a relaciones económicas, formas de organización social, reciprocidad, parentesco, colaboración y pertenencia identitaria, entre las que destacan:

Relaciones familiares: Son consecuencia del apego socioemocional y la vinculación territorial dentro de la dinámica genealógica-familiar, generan procesos de aprendizaje y transmisión de saberes de generación en generación y el intercambio entre diferentes miembros de la familia (Figura 3). Existen familias con larga trayectoria, cuyos fundadores, hoy retirados debido a su avanzada edad, desempeñan un papel crucial en la transmisión del saber hacer hacia familiares y UPF. Las dinámicas de competitividad, provocan el perfeccionamiento de sus técnicas y preservación de recetas propias o familiares de quesos añejos que les otorgan identidad. Las personas mayores con un acervo de vivencias y los jóvenes quienes aprendieron estas técnicas desde la niñez o juventud son quienes mejor desarrollan estas habilidades.

Relaciones laborales: Las UPF refuerzan su arraigo al entorno territorial al requerir insumos y capital humano para su funcionamiento, lo que favorece la integración de la comunidad y genera oportunidades de empleo. Más de 50 % de las UPF que elaboran queso mantie-

of knowledge, as well as the exchange of experiences among different family members (Figure 3). Some families have a long-standing history in cheese production, with founding members—now retired due to advanced age—playing a crucial role in passing on their know-how to relatives and other FPUS. Competitive dynamics drive the refinement of techniques and the preservation of unique or family-specific recipes for aged cheeses, which serve as markers of identity. Older adults, who possess a wealth of lived experience, and younger generations who learned these techniques from childhood or adolescence, are the ones best equipped to develop and master these skills.

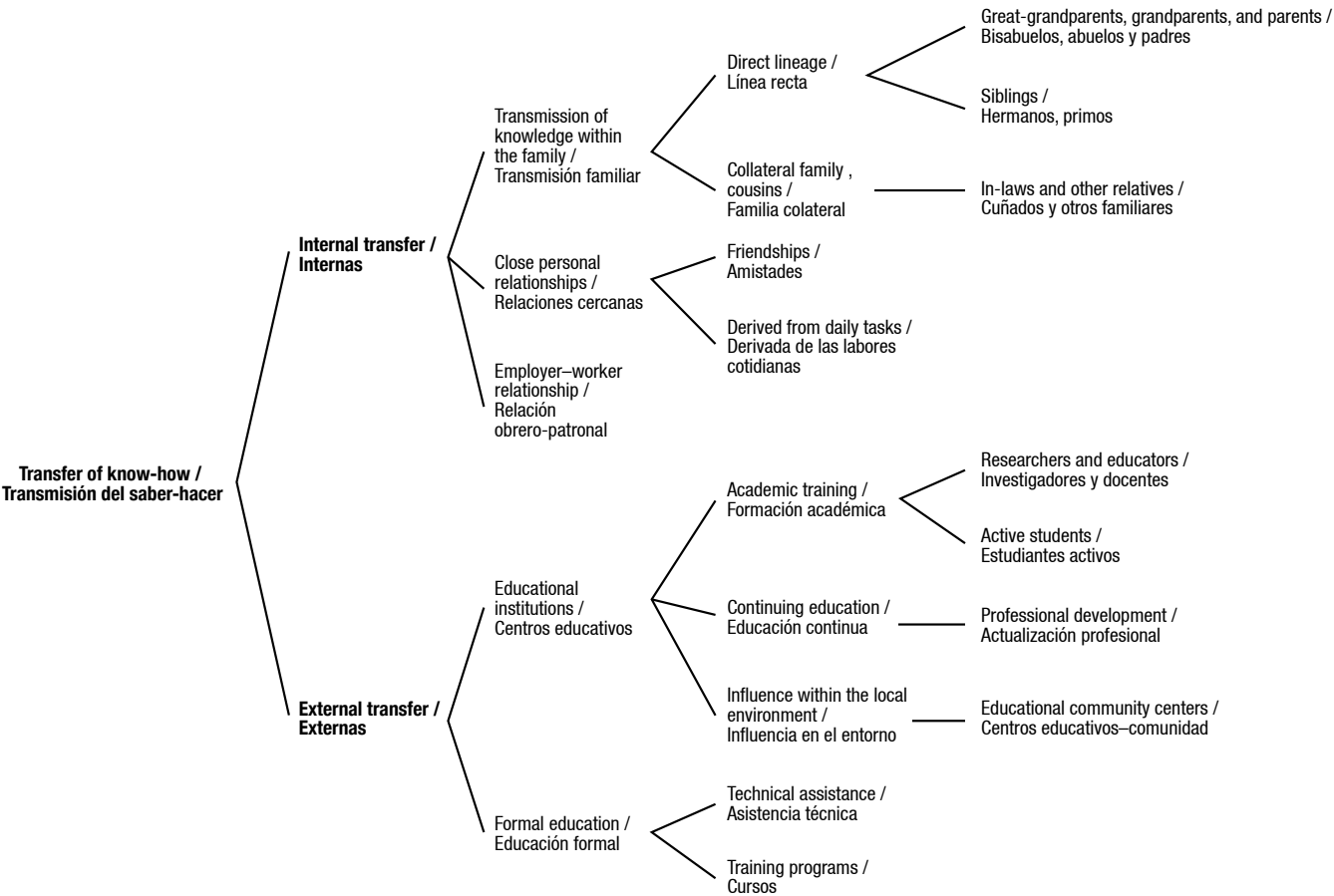
Labor relations: FPUs reinforce their attachment to the local territory through the need for inputs and human capital to sustain their operations, which in turn promotes community integration and creates employment opportunities. Over 50 % of FPUs engaged in cheese

production have labor ties with the community through the hiring of workers or in the participation in the production process and commercialization. This relationship strengthens the local economy and plays a key role in the transmission of knowledge.

Relaciones tecnológicas: Se establecen con proveedores de insumos, materias primas, maquinaria y servicios de asesoría. Están condicionadas a la disponibilidad de recursos económicos en cada UPF, lo que determina el grado de tecnificación aplicado en el procesamiento del queso.

Relaciones comerciales: La red comercial de los productores de quesos artesanales se basa principalmente en vínculos de cercanía y confianza, con un predominio del consumo local. El 70.4 % de las ventas se realiza a través de amigos y familiares, el 29.6 % en la localidad (modelo comercial centrado en mercados de proximidad).

Figure 3. Transfer of artisanal knowledge within FPUs.
Figura 3. Transmisión de saber-hacer en las UPF.



Source: Compiled by the authors (2024).
Fuente: Elaboración propia (2024).

production maintain labor ties with the community by hiring workers or involving them in the production and commercialization processes. This relationship strengthens the local economy and plays a key role in the transfer of knowledge.

Technological Relationships: These are established with suppliers of inputs, raw materials, machinery, and advisory services. They are conditioned by the economic resources available to each FPU, which determines the degree of technological advancement applied in the cheese processing.

Commercial Relationships: The commercial network of artisanal cheese producers is primarily based on close and trust-based relationships, with a strong focus on local consumption. Approximately 70.4 % of sales are carried out with friends and family, while 29.6 % take place within the locality—reflecting a commercial model centered on proximity markets. Moreover, an informal collaborative network exists within this social structure, which enables the exchange of knowledge. However, interaction among FPUs is limited due to productive and commercial competition. This trust- and reputation-based commercial structure—rather than one built on formal market strategies or producer associations—represents both a strength and a limitation. While it fosters customer loyalty, it can hinder the formation of strategic alliances or the expansion into broader markets. State and municipal authorities support FPUs in developing improvement processes through financing, equipment provision, facility supervision, and assistance in creating brand registration and nutritional labeling. These efforts aim to strengthen the market positioning of local cheese producers and their products, promoting fair and healthy competition for consumers.

Cultural relationships. These are collectively constructed and constitute a fundamental axis for territorial rootedness and the development of community identity. They are expressed through social activities that, over time, evolve into traditions deeply embedded in local life. In the municipality, two significant celebrations exemplify this process. The patron saint festival in honor of *Saint Michael the Archangel* serves as a gathering that has strengthened social cohesion and a sense of belonging. From this celebration emerged the Cheese Expo-Fair, held for over 30 years, aimed at promoting the commercialization of cheese and other artisanal products. It serves as a platform to position cheese and cheese-making facilities as part of the region's productive and distinctive identity "(A. Ortiz, personal communication, 28/09/2023). The connection established between cheese-making and culture adds

dad). Además, existe una red de colaboración implícita en este tejido social, que permite el intercambio de conocimiento, aunque la interacción entre las UPF es limitada por la competencia productiva y comercial. Esta estructura comercial basada en la confianza y el prestigio, más que en estrategias formales de mercado o asociaciones productivas, representa una fortaleza y una limitación. Ya que facilita la fidelidad de clientes, pero puede obstaculizar la generación de alianzas estratégicas o la expansión del mercado. Las autoridades estatales y municipales apoyan a las UPF a generar procesos de mejora, mediante apoyos para: financiamiento, equipamiento, supervisión de establecimientos y acompañamiento para la generación de registro de marca y tabla nutricional; fomentando el posicionamiento de las queserías y sus productos frente al consumidor mediante libre y sana competencia.

Relaciones culturales. Son construidas colectivamente y constituyen un eje fundamental para el arraigo territorial y la construcción de la identidad comunitaria, que se expresan mediante actividades sociales que, con el paso del tiempo, se transforman en tradiciones profundamente enraizadas en la vida local. En el municipio, destacan dos celebraciones significativas que reflejan este proceso. La fiesta patronal en honor a San Miguel Arcángel es un encuentro que ha fortalecido la pertenencia y cohesión social. A partir de esta surgió la Expo feria del queso con más de 30 años de celebración, la cual tiene como objetivo promover la comercialización de quesos y otros productos artesanales. Constituye una vía para posicionar al queso y las plantas queseras como parte de la identidad productiva y distintiva del territorio "(A. Ortiz comunicación personal, 28/09/2023), y establecer una conexión entre la actividad quesera y la cultura da riqueza simbólica al producto, mediante: pabellones comerciales, identidad corporativa y marcas, y la elaboración colectiva de un queso monumental que se exhibe por las calles del municipio. La expo-feria genera una importante derrama económica por el turismo y venta de quesos (P. Barranco, comunicación personal, 28/09/2023). "Actualmente no se cuenta con un reconocimiento cultural o patrimonial, de índole nacional o internacional" (L. Olguín comunicación personal, 1/10/2023). El reconocimiento a la tradición quesera lo da la población, por la permanencia, transmisión genealógica, la influencia económica y gastronómica reconociéndose como "una población ganadera y orgullosamente quesera".

Identificación de saberes tradicionales y conocimientos en la producción de queso

Las UPF establecen, dentro y fuera de la unidad, relaciones que permiten el flujo y consolidación del co-

symbolic value to the product, expressed through commercial pavilions, corporate identity and branding, and the collective production of a monumental cheese, which is paraded through the streets of the municipality. The expo-fair generates significant economic activity through tourism and cheese sales (P. Barranco, personal communication, 28/09/2023). “Currently, there is no national or international cultural or heritage recognition” (L. Olguín, personal communication, 10/01/2023). Recognition of the cheese-making tradition comes from the local population itself, based on its continuity, genealogical transmission, and its economic and gastronomic impact—leading residents to proudly identify as “a livestock-based and cheese-making community.”

Identification of Traditional Knowledge and Know-How in Cheese Production

FPU establish relationships both within and beyond the unit that enable the flow and consolidation of knowledge. Within each FPU, members of the family nucleus collaborate in organized teams for cheese processing and commercialization. The construction of cheese-making know-how involves a wide range of dynamics, including techniques, strategies, and knowledge that are applied and transmitted on a daily basis, as well as the incorporation of innovations that have modified or refined traditional processes (Figure 4). Inputs and equipment are typically acquired from urban centers such as Pachuca, Tulancingo, and Mexico City. The Distance is compensated for by strong social networks and ongoing interaction with suppliers, consultants, and technicians, who provide guidance on the appropriate use of machinery, tools, and technologies. This learning is then adapted and reinterpreted within each FPU, resulting in a localized appropriation of knowledge.

The Process: Between Tradition, Technique, and Adaptation

Cheese production begins with the selection and straining of milk. The milk is then heated, and ingredients such as rennet and lactic cultures are added, depending on the variety being produced. The mixture is left to rest, then drained (whey removal) and salted. Afterward, the cheese is pressed into molds and left to rest before packaging and refrigerated storage. The process is shared among most members of the FPUs, but each unit adapts specific conditions—such as quantities, timing, temperatures, and procedures—based on their experience, available resources, inherited knowledge, and technical advice. This diversity represents both a cultural and productive richness, as well as a challenge

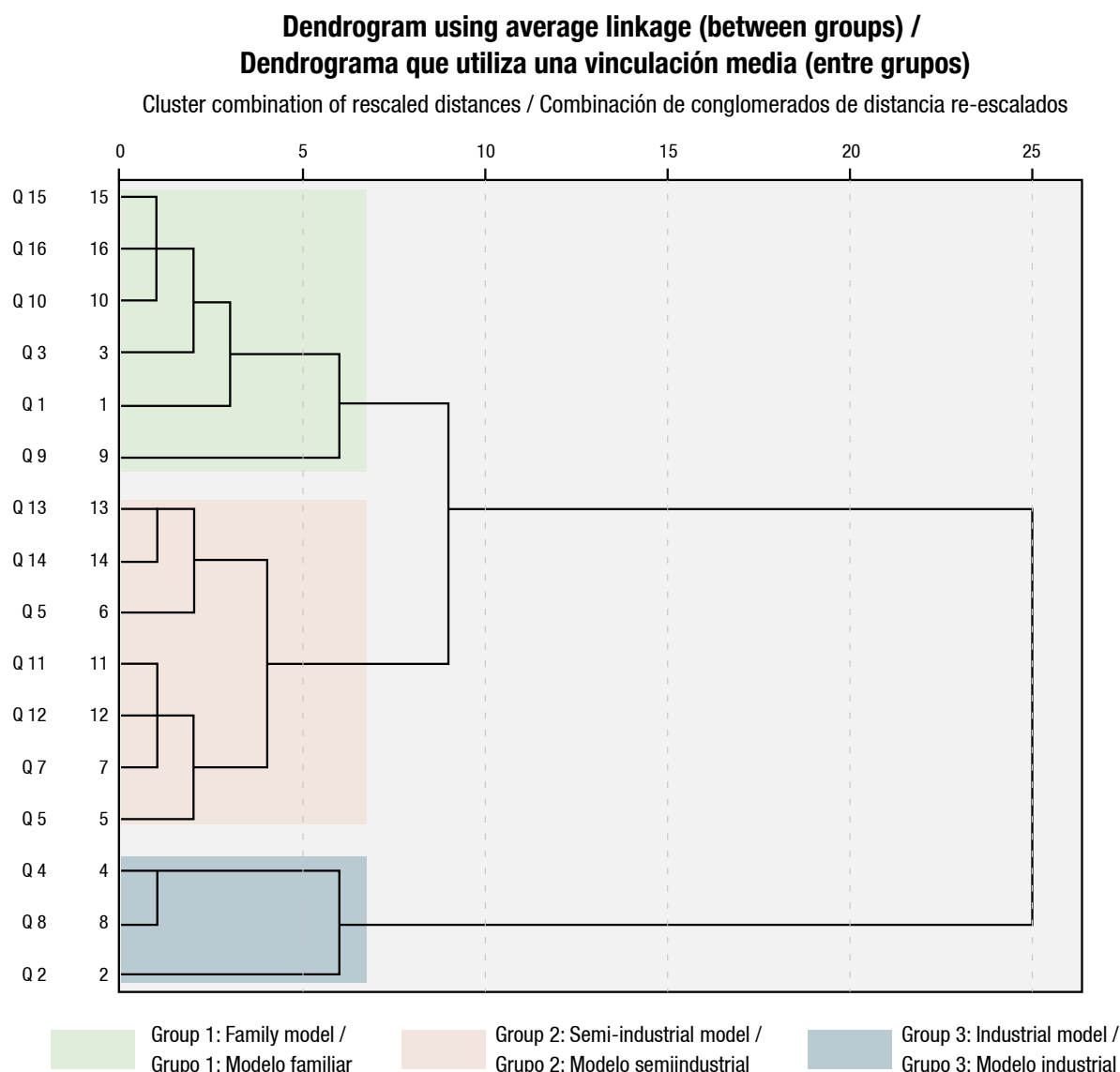
nocimiento. En el interior de cada UPF, los integrantes del núcleo familiar colaboran en equipos organizados, para el procesamiento y la comercialización del queso. La multiplicidad de dinámicas implícitas en la construcción del saber-hacer quesero: técnicas, estrategias y conocimientos que se aplican y transmiten cotidianamente, así como la incorporación de innovaciones que han modificado o perfeccionado los procesos tradicionales (Figura 4). Los insumos y equipamiento se adquieren en zonas urbanas como Pachuca, Tulancingo y Ciudad de México. La distancia se compensa gracias al tejido social y a la interacción constante con proveedores, asesores y técnicos, quienes transmiten conocimientos sobre el uso adecuado de maquinaria, implementos y tecnologías. Este aprendizaje se adapta y se reinterpreta en cada UPF, generando una apropiación localizada del conocimiento.

El proceso: entre tradición, técnica y adaptación

La elaboración del queso inicia con la selección y colado de la leche. Posteriormente, ésta se calienta y se añaden insumos como el cuajo y los cultivos lácticos, dependiendo de la variedad a elaborar. Luego se deja reposar, se desuera y se sala. Posteriormente, el queso es moldeado en prensa y se deja reposar antes de proceder al empaque y almacenamiento en refrigeración. El proceso se comparte entre la mayoría de integrantes de la UPF, pero cada una adapta condiciones específicas (cantidades, tiempos, temperaturas y procedimientos), en función de su experiencia, recursos, conocimientos heredados y asesorías técnicas. Esta diversidad constituye una riqueza cultural y productiva, y un reto para la estandarización y autenticidad del producto. La evolución de las UPF responde a la aplicación del conocimiento, la creatividad para emprender nuevas estrategias y la capacidad de adaptar e innovar, buscando posicionar sus productos o conquistar nuevos mercados.

Modos y formas de transmisión del saber-hacer. Los resultados de la encuesta muestran que, en Acatlán la transmisión del conocimiento es principalmente oral (43 %), mediante enseñanza demostrativa a familiares o personas cercanas (21 %). Un 14 % documenta sus procesos por escrito, 11 % por cursos formales o asesorías y porcentajes menores utilizan recetarios, registros escritos o incluso dispositivos móviles para tomar fotografías o videos del proceso. Esta diversidad revela la continuidad de la quesería tradicional, así como los esfuerzos de formalización y sistematización que emergen con el tiempo. El saber-hacer quesero en Acatlán es un bien intangible de gran valor, construido colectivamente y adaptado a los cambios tecnológicos, sociales y económicos.

Figure 4. Classification of FPU's
Figura 4. Categorización de UPF.



Source: Compiled by the authors based on fieldwork data (2024).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del trabajo de campo (2024).

to the standardization and authenticity of the product. The evolution of FPU's is driven by the application of knowledge, the creativity to develop new strategies, and the ability to adapt and innovate in efforts to position their products and access new markets.

Modes and forms of knowledge transfer. Survey results indicate that in Acatlán, knowledge transfer is primarily oral (43 %), often taking place through demonstrative teaching aimed at family members or close individuals (21 %). About 14 % of respondents document their processes in written form, 11 % rely on formal courses

Caracterización y tipificación de unidades de producción familiar

El análisis de componentes principales muestra tres grupos que clasifican a las UPF, de acuerdo con el procesamiento en: procesamiento familiar (6), procesamiento semi-industrial (7) y procesamiento industrial (3).

Grupo 1. Procesamiento familiar. Compuesto por las UPF 15, 16, 10, 3, 1 y 9; este modelo conjuga una diversidad de actividades productivas (agricultura, producción pecuaria y procesamiento-venta de quesos). El 84 % de este

or technical advice, and smaller percentages use recipe books, written records, or even mobile devices to take photos or videos of the process. This diversity reflects both the continuity of traditional cheese-making practices and the gradual emergence of efforts toward formalization and systematization. Cheese-making know-how in Acatlán is an intangible asset of great value, collectively constructed and continuously adapted to technological, social, and economic changes.

Characterization and Typification of Family Production Units

The principal component analysis identifies three groups that classify FPU according to their processing model: family-based processing (6 units), semi-industrial processing (7 units), and industrial processing (3 units).

Grupo 1. Family-Based Processing. This group includes FPU 15, 16, 10, 3, 1, and 9. These units combine a variety of productive activities—agriculture, livestock farming, and cheese processing/sales. Within this cluster, 84 % are engaged in livestock production, and the milk used typically comes from family members or friends. The average generational depth is 1.7 generations, indicating that the activity has been passed down and sustained within families for 18 to 45 years. Their skills and knowledge have been developed through interaction with an average of 2.8 individuals knowledgeable in cheese-making. These units have also implemented an average of 3.5 strategies to distribute and position their products in the market.

Grupo 2. Semi-Industrial Processing. This group includes FPU 13, 14, 6, 11, 12, 7, and 5. Of these, 71.4% do not engage in agricultural or livestock activities and instead purchase milk from other FPU in Acatlán, while 28.57% do maintain agro-livestock activities, processing their own milk and sourcing additional supply from local producers. Cheese production is carried out by members of the FPU, 50% rely on hired personnel. Their average weekly income ranges between \$2000.00 and \$4999.00 Mexican pesos. For 85.7 % of the FPU, cheese-making is their main source of income, while 14.2 % supplement it with other activities. These units operate from facilities with appropriate conditions, basic services, specialized equipment, and infrastructure, typically functioning six days a week. Their production volume ranges from 1000 to 3500 liters of milk per day.

The average duration of operation and establishment is 17 years, with the oldest units having 25 to 30 years of experience. These FPU have reached a degree of stability, maturity, and market presence, with an average

clúster tiene producción pecuaria, la leche proviene de la familia o amigos. El promedio genealógico de las UPF corresponde a 1.7 generaciones. Actividad transmitida y perpetuada entre los miembros de la familia, con antigüedad de 18-45 años. Sus habilidades y conocimientos ocurrieron por la interacción con 2.8 personas que los conocen, han generado 3.5 estrategias para distribuir y posicionar sus productos.

Grupo 2 Procesamiento semiindustrial. Integrado por las UPF 13, 14, 6, 11, 12, 7 y 5. El 71.4 % no desarrollan actividades agropecuarias y compran su leche en UPF de Acatlán, 28.57 % con actividades agropecuarias, procesan su leche y adquieren productores locales. Los integrantes de la UPF elaboran los quesos, el 50 % se apoyan de personal contratado, tienen un ingreso semanal de \$2000.00-\$4999.00 pesos. Del 85.7% de las UPF, la quesería es su principal fuente de ingresos, el 14.2 % de las UPF tiene otras actividades. Cuentan con plantas con condiciones, servicios, instalaciones y equipamiento especializado, operan 6 días/semana. Alcanzan volúmenes de 1000-3500 litros diarios. El promedio de antigüedad y asentamiento es de 17 años, las más antiguas entre 25-30 años. Han logrado estabilidad, madurez y presencia, con 1.4 promedio de generaciones, como indicador de transmisión y conservación de conocimiento y habilidades que se han traspasado por 1.1 relaciones y al menos 1.2 estrategias para permanecer en la actividad y el mercado.

El 63 % de las UPF clasificadas como semi-industriales e industriales reportan una mayor dependencia de bienes y servicios externos, el 37 % basa su producción en procesos tradicionales con menor dependencia, su modelo tecnológico se centra en conservar prácticas heredadas, insumos locales, operan con equipamiento básico y preservan el saber hacer como recurso de innovación. A pesar de las diferencias en el nivel de tecnificación, las relaciones tecnológicas propician procesos de aprendizaje. El 25 % de los encuestados incorporó al menos dos innovaciones y el 94 % afirmó aplicar cotidianamente los conocimientos adquiridos en la elaboración del queso.

Grupo 3 Procesamiento industrial conformado por las UPF 4, 2 y 8. No realizan producción agropecuaria, la leche y materias primas son compradas en Acatlán y alrededores, el procesamiento y venta del queso es su fuente de ingresos principal, el ingreso familiar semanal es de aproximadamente \$5000.00, hay dependencia de recursos externos y generación de valor agregado, su mercado es principalmente foráneo; para satisfacer la demanda comercial transforman grandes volúmenes de leche (5000-20000 L), el 75 % realiza de manera tecnificada el procesamiento y acondicionamiento, cumplen con condiciones de seguridad, higiene y sanitarias para cuidar el

of 1.4 generations involved—serving as an indicator of the transmission and preservation of knowledge and skills. On average, knowledge has been passed down through 1.1 interpersonal relationships, and each unit has adopted at least 1.2 strategies to remain active and competitive in the market.

Among the FPU's classified as semi-industrial or industrial, 63 % report a greater reliance on external goods and services, while 37 % base their production on traditional processes with lower dependency. These latter units center their technological model on preserving inherited practices, using local inputs, operating with basic equipment, and valuing traditional know-how as a source of innovation. Despite differences in the level of technological advancement, technological relationships foster learning processes. A quarter of respondents (25 %) reported incorporating at least two innovations, and 94 % stated that they apply the knowledge acquired in cheese-making on a daily basis.

Group 3. Industrial Processing, comprised of FPU's 4, 2, and 8. These units do not engage in agricultural production. Milk and raw materials are purchased in Acatlán and surrounding areas. Cheese processing and sales are their main source of income, with an average weekly household income of approximately \$5 000.00. There is a dependency on external resources and a focus on value-added production. Their market is primarily external; to meet commercial demand, they process large volumes of milk (5 000–20 000 L). Approximately 75 % use modern equipment and methods for processing and handling. They follow safety, hygiene, and sanitation standards to protect both the equipment and the product. They hire personnel, operating with 18 to 25 people on 8-hour daily shifts, for 6.3 days per week. 30 % of the workers are family members. They have been in operation for 10 to 14 years, with an average of two-family generations involved, indicating that knowledge and skills have been passed down through an average of 1.3 familial relationships. Milk processing leads to the production of 14 common consumer products: 11 types of cheese (*Oaxaca*, *panela*, *manchego*, *botanero*, *requesón*, *morral*, *tenate*, *Chihuahua*, *mozzarella* and *ranchero* (or *canasto*) and provolone — and three dairy products: yogurt, cream, and butter. Of the 16 FPU's studied, total weekly cheese production volume amounts to 307,160 kg. Of this volume, only 5 % consists of traditional, artisanal, and authentic cheeses directly and consistently linked to family production units and local livestock. 42.8 % of the cheese comes from semi-industrial FPU's, and 52.2 % from industrial FPU's.

equipo y el producto. Hacen contratación de personal, operan con 18-25 personas en jornadas de 8 horas diarias, durante 6.3 días por semana. 30 % son integrantes de la familia. Su permanencia en el tiempo va de 10 a 14 años, y su promedio genealógico corresponde a 2 generaciones, esto explica que habilidades y saberes han ocurrido entre familiares en un promedio de 1.3 relaciones.

La transformación de leche posiciona 14 productos de consumo cotidiano: 11 tipos de queso (*Oaxaca*, *panela*, *manchego*, *botanero*, *requesón*, *morral*, *tenate*, *Chihuahua*, *mozzarella*, *ranchero* o *canasto* y *provolone*) y tres lácteos (*yogurt*, *crema* y *mantequilla*). De las 16 UPF estudiadas el volumen procesado de queso es de 307160 kg semanales. De este volumen solo el 5 % concentra quesos tradicionales, artesanales y genuinos ligados a la unidad de producción familiar, vinculadas a la ganadería local de manera directa y permanente. El 42.8 % del queso proviene de UPF del modelo semi industriales y el 52.2 % de UPF del modelo industrial.

Los saberes, el verdadero valor en la elaboración del queso

Las relaciones de las UPF que llevan los integrantes nucleares dentro generan equipos organizados para alcanzar los objetivos de procesamiento y comercialización. El número de dinámicas implícitas en la construcción del saber-hacer aplicado a la elaboración van de 1-5, el número de técnicas y estrategias por las que aprendió a elaborar queso van de 1-3 y las innovaciones integradas, que repercuten en la obtención del queso son de 1-7 (Figura 5).

A lo largo de la cadena de valor cada eslabón genera reconocimiento determinado por su importancia o dependencia. La leche proviene mayormente de la propia UPF u otras granjas aledañas auxiliados de boteros o centros de acopio. El conocimiento aplicado dentro de la unidad ganadera repercute sobre el producto final y lo mismo ocurre con el transporte de la leche. Los equipos y materiales provienen de Pachuca, Tulancingo y Ciudad de México. La interacción con proveedores o asesores se encargan de asesorar para el uso de maquinaria, equipamiento o insumos y los integrantes de la UPF los adquieren y aplican (Figura 6).

En la elaboración del queso, el valor que proporcionan las relaciones se puede evaluar mediante los resultados y la similitud o diferencia del conocimiento (saber-hacer) que poseen o desarrollan y que se reflejan en las múltiples estrategias aplicadas en la elaboración de quesos en Acatlán (Figura 7).

Knowledge: The True Value in Cheese-Making

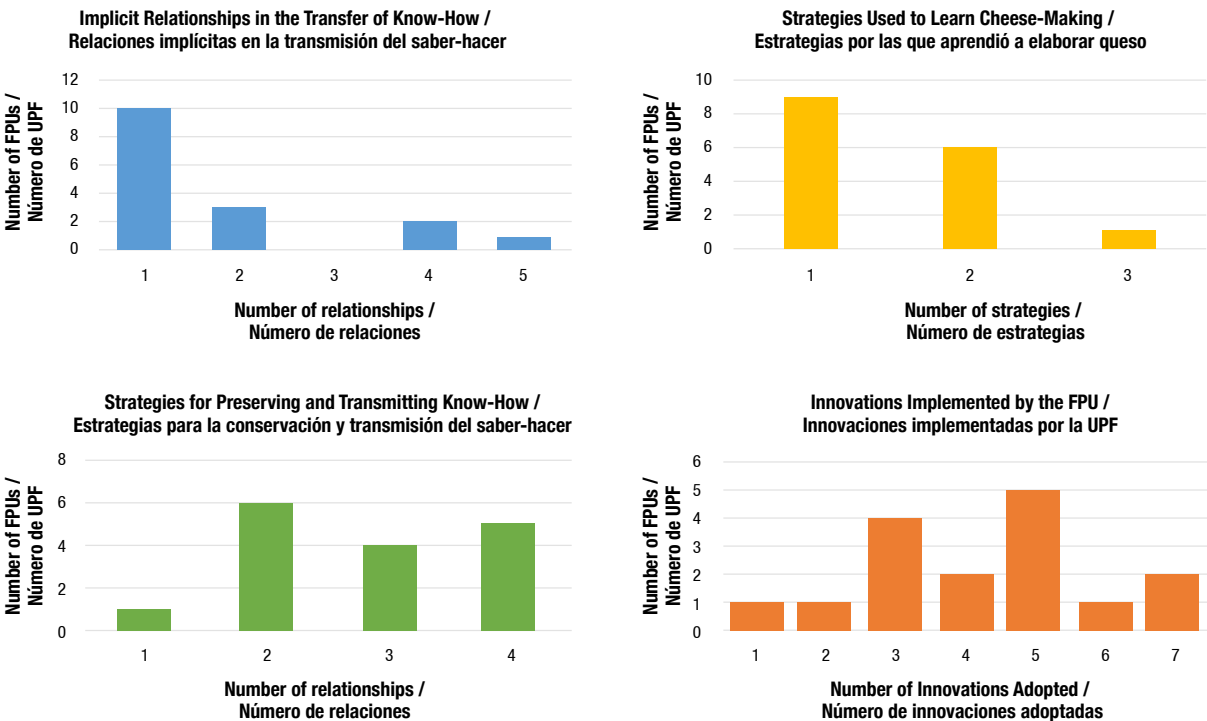
Relationships formed within family production units, especially among core family members, help create organized teams focused on achieving processing and marketing goals. The number of implicit dynamics involved in developing cheese-making know-how ranges from 1 to 5. The number of techniques and strategies used to learn cheese production ranges from 1 to 3. Innovations that influence the final product range from 1 to 7 (Figure 5).

Each stage of the value chain receives recognition based on its importance or level of dependency. Most of the milk is sourced either from the family production unit (FPU) itself or from nearby farms, with the support of milk transporters or collection centers. The knowledge applied within the livestock unit directly influences the final product, and the same is true for the milk transportation process. Equipment and materials are mainly sourced from Pachuca, Tulancingo, and Mexico City. Suppliers and technical advisors provide guidance

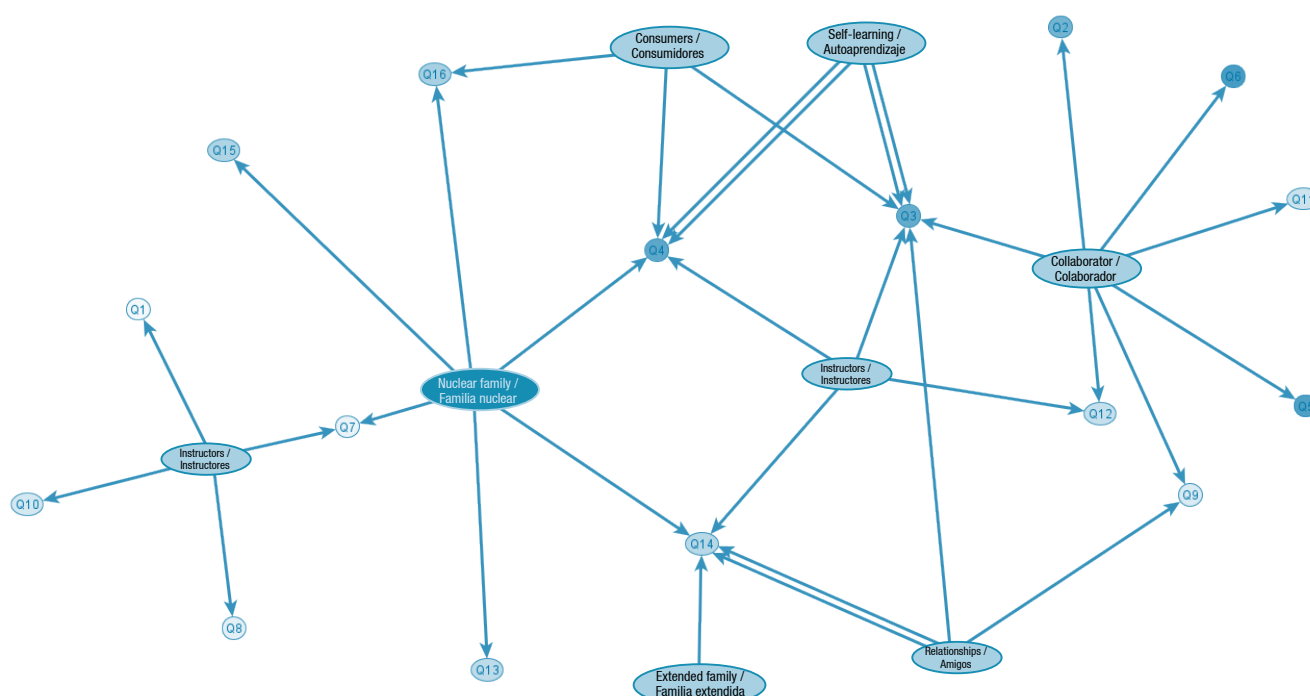
El saber hacer y su conservación en las UPF ocurre por la transmisión oral (43 %), el 21 % señala que la enseñanza es demostrativa para familiares o personas cercanas, 14 % los escribe, 11 % toma cursos formales o asesorías, y el resto tienen recetario. Documentan el proceso y con la aparición de los dispositivos móviles les toman fotos o vídeos (Figura 8).

Se identifican dos modelos de procesamiento que influenciaron a las UPF actuales. Para el modelo semi-industrial e industrial la Quesería Nochebuena es el actor que posicionó el modelo de modernización y tecnificación, integrando condiciones para popularizar y llevar a tiendas de autoservicio el queso tipo manchego, que ellos elaboraban desde los años 80 y 90. El modelo familiar, vincula a la familia Soto como líderes en la elaboración artesanal de quesos genuinos y tradicionales: el queso tenate (envase con tenate de palma, previamente ablandado con agua hervida, en bolsa de plástico grado alimenticio, (Figura 9) y variaciones del

Figure 5. Strategies and relationships within FPUs.
Figura 5. Estrategias y relaciones ocurridas en las UPF.



Source: Compiled by the authors based on field data analysis (2024).
Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de información de campo (2024).

Figure 6. Actors involved in sharing Know-How**Figura 6. Relaciones y actores por los que la UPF transmite el saber-hacer.****Source:** Compiled by the authors based on field data analysis (2024).**Fuente:** Elaboración propia a partir del análisis de información de campo (2024).

on the use of machinery, equipment, and inputs, which are then purchased and applied by members of the FPU (Figure 6).

In cheese-making, the value provided by relationships can be assessed through outcomes and the similarity or difference in the know-how they possess or develop. This is reflected in the different strategies applied in cheese production in Acatlán (Figure 7).

Know-how and its preservation within FPUs occur primarily through oral transmission (43 %). About 21 % indicate that teaching is demonstrative, aimed at family members or close individuals; 14 % document it in written form; 11 % engage in formal courses or seek guidance; and the rest rely on recipe books. The process is increasingly being documented, and with the advent of mobile devices, photos and videos are now commonly taken (Figure 8).

A total of two processing models have been identified as influential in shaping current FPU practices. In the semi-industrial and industrial model, *Quesería Nochebuena* played a key role in promoting modernization and technological advancement. This facility integrated the necessary conditions to popularize and

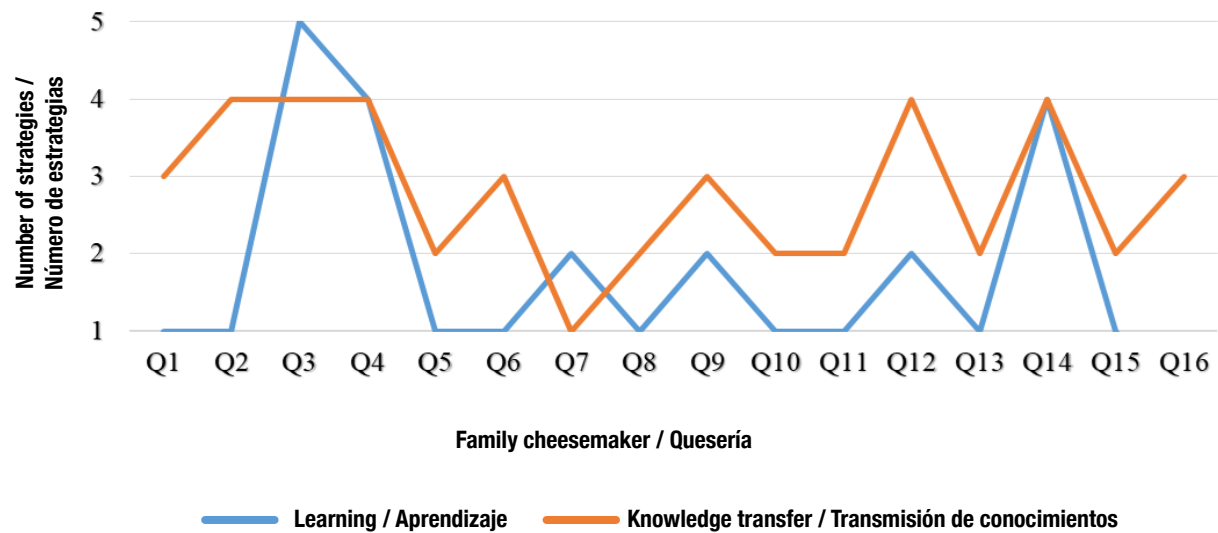
queso manchego, en este ejemplo la integración familiar es el eje de las actividades productivas, conducida principalmente por las mujeres (abuelas y madres) que centralizaron los esfuerzos de todos los integrantes de la familia, incluyendo a los niños para generar beneficios socioeconómicos derivados de la elaboración y comercialización del queso.

Discusión

El queso como producto de identidad cultural, desarrollo social, ambiental y económico permite considerar que dicha integración se trata de una agroindustria rural. La fisiografía, las dinámicas sociales y las actividades agropecuarias reúnen cualidades que la definen como una cuenca lechera, lo que coincide con Poméon et al. (2006).

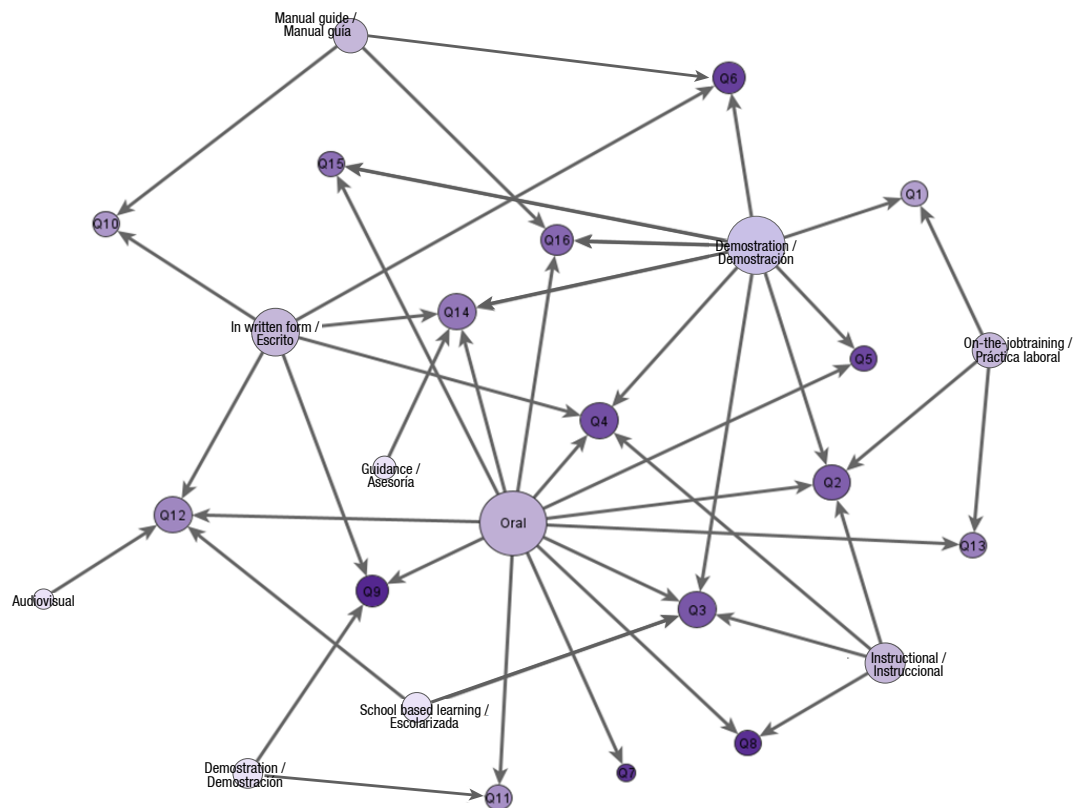
Acatlán, su queso y su entramado social reúnen las condiciones para definirlo como un sistema agroalimentario localizado, presente y activo. La producción de queso revela su influencia en la generación de una cultura, por el consumo y venta del producto, ingresos, seguridad y soberanía alimentaria para las familias, dinámicas que ayudan a equilibrar la oferta comercial frente a quesos industriales.

Figure 7. Learning and strategies for knowledge transfer within FPU.
Figura 7. Aprendizaje y estrategias para la transmisión de conocimientos dentro de las UPF.



Source: Compiled by the authors (2024).
Fuente: Elaboración propia (2024).

Figure 8. Network of strategies used to preserve know-how within FPUs.
Figura 8. Red de estrategias que conservan el saber hacer dentro de las UPF.



Source: Compiled by the authors (2024).
Fuente: Elaboración propia (2024).

distribute *Manchego-style cheese*—which they had been producing since the 1980s and 1990s—into self-service retail stores. The family-based model is associated with the *Soto family*, recognized as leaders in the artisanal production of authentic, traditional cheeses. These include *queso tenate* (packaged in a tenate—a palm fiber basket—previously softened with boiled water and lined with a food-grade plastic bag; see Figure 9) and various *Manchego-style cheese* adaptations. In this model, family integration is the core of productive activities, driven primarily by women (grandmothers and mothers), who coordinated the efforts of all family members—including children—to generate socioeconomic benefits through the production and commercialization of cheese.

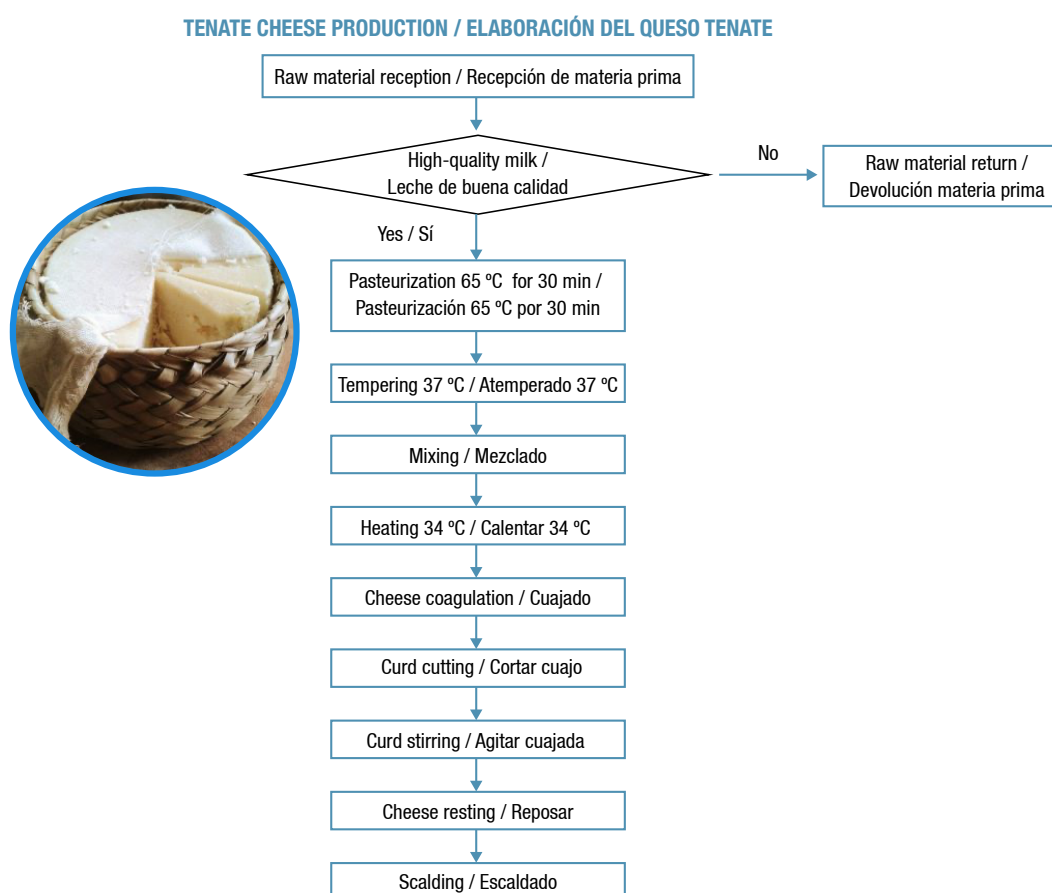
Discussion

Cheese, as a product of cultural identity, social, environmental, and economic development, allows us to consider this integration as a rural agroindustry. The physiography, social dynamics, and agricultural activities combine qualities that define the area as a dairy region, which agrees with Poméon et al. (2006).

La historia, genealogía, relaciones y condiciones ligadas al territorio aportan atributos específicos al queso, esto coincide con lo referido por Cervantes et al. (2008). La tradición quesera prevalece gracias a las estrategias que se usan en su transmisión y resguardo de la tradición oral y la enseñanza práctica. La proximidad geográfica y el territorio ayudan a la concentración de las UPF, correlación clave en la consolidación de relaciones y en la perpetuación del saber-hacer, mediante la proximidad organizacional, que genera beneficios o ingresos entre los diferentes actores que componen el sistema. Las UPF, basan sus resultados en el núcleo familiar, donde las mujeres toman un rol importante aportando mano de obra para realizar o complementar las actividades del hogar con la elaboración de quesos. En contraste, Vasek et al. (2011), analizaron las relaciones ocurridas en UPF artesanales en Argentina, revelando que el trabajo de la mujer rural tiene baja valoración y se subvalora la cantidad de horas de trabajo diario. Asimismo, Acuña-Rodríguez et al. (2021), señalan que, en familias campesinas elaboradoras de queso en Colombia, las mujeres se enfocan en labores domésticas y elaboración del queso, mientras los hom-

Figure 9. Process flow diagram for tenate cheese production.

Figura 9. Flujograma de la elaboración del queso Tenate.



Acatlán, its cheese, and its social structure meet the conditions to be defined as a localized, present, and active agro-food system. Cheese production demonstrates its influence in shaping a culture through the consumption and sale of the product, generating income, food security, and sovereignty for families. These dynamics help balance the commercial supply in contrast to industrial cheeses.

The history, genealogy, relationships, and conditions tied to the territory provide specific attributes to the cheese; this agrees with the findings of Cervantes et al. (2008). The cheesemaking tradition endures thanks to the strategies used to transmit and preserve it—particularly through oral tradition and hands-on teaching. Geographic proximity and territorial context contribute to the concentration of FPU, a key correlation in consolidating relationships and perpetuating know-how, facilitated by organizational proximity. This proximity generates benefits or income among the various actors involved in the system. FPU base their outcomes on the family unit, where women play a central role by contributing labor, either by performing or complementing household activities with cheesemaking. In contrast, Vasek et al. (2011) analyzed relationships within artisanal FPU in Argentina, revealing that rural women's labor is undervalued, and the number of hours they work daily is often underestimated. Similarly, Acuña-Rodríguez et al. (2021) report that in cheesemaking peasant families in Colombia, women tend to focus on domestic tasks and cheese production, while men take on physically demanding jobs. This form of social organization and hierarchy is learned, internalized, and replicated within the family context.

The relevance of cheese as a food product and income generator presents a contradictory scenario for FPU due to the risk of gradual disappearance (Espinoza et al., 2010; El Sol de Hidalgo, 2017), along with the loss of local knowledge. This is happening because the agroindustry has increased its production and presence, a situation exacerbated by the lack of labor and generational turnover in small FPU (González-Santiago, 2007; Villegas et al., 2012). Industrial FPU have developed organizational processes that allow them to establish broad relationships and alternative distribution channels for their cheeses in external markets, which agrees with the findings of Espinoza et al. (2008) regarding the distribution chain. Marketing provides opportunities for small and medium-sized milk producers, who generally find it difficult to integrate into the complex industrial chains (Grass & Cesín, 2014), offering an alternative approach to management or value-added processes, as pointed out by Villegas et al. (2014).

The three groups of FPU or cheesemaking facilities face commercialization challenges due to seasonality, input costs, raw material availability, labor turnover, and

bres realizan labores que demandan fuerza, esta forma de organización y jerarquización social es asimilada, aprendida y replicada desde el contexto familiar.

La relevancia del queso como producto alimenticio y generador de ingresos se encuentra en un contradictorio panorama para las UPF por el riesgo de desaparecer gradualmente (Espinoza et al., 2010; El Sol de Hidalgo, 2017), y con ello, la pérdida de saberes locales porque la agroindustria ha incrementado su producción y presencia, situación que se agudiza por la falta de mano de obra y relevo generacional en las UPF pequeñas (González-Santiago, 2007, Villegas et al., 2012). Las UPF industriales han desarrollado procesos organizativos que les permite establecer relaciones amplias y alternativas para la distribución de sus quesos en mercados foráneos, lo que coincide con los hallazgos de Espinoza et al. (2008) referente a la cadena de distribución. La comercialización brinda oportunidades a pequeños y medianos productores de leche que generalmente no encuentran cabida en las complejas cadenas industriales (Grass & Cesín, 2014), y brinda una alternativa de manejo o valorización, como lo señala Villegas et al. (2014).

Los tres grupos de UPF o queserías responden a problemas de comercialización, por la estacionalidad, precio de insumos, disponibilidad de materias primas, rotación de mano de obra y dinámicas comerciales que alteran el mercado, generan un panorama incierto y en constante cambio, como lo mencionan Pesado & Rodríguez (2022). La distribución de insumos y sustitutos para el queso y otros lácteos generados por las agroindustrias provocan una dinámica de competencia desigual en el mercado, por la procedencia de diversos productos dentro de misceláneas hasta tiendas de autoservicio, limitan la participación de los quesos acatlenses en el mercado nacional, pero sus características y las estrategias usadas por las UPF las dotan de cierta resiliencia.

Bridier (2011), reconoce que la calificación territorial puede permitir acceder a nuevos mercados en crecimiento (productos tradicionales y étnicos, comercio justo) y aumentar sensiblemente el ingreso de los productores. La Expo Feria es una estrategia cultural y comercial, en la cual puede instituirse un distintivo o sello como una verdadera herramienta de desarrollo local, más allá de un interés económico es una necesidad identificada para asegurar y mantener su identidad social y cultural.

Los actores sociales han generado relaciones en contextos variados, que posibilitan la articulación y organización para la comercialización de los quesos acatlenses, con un efecto colectivo favorable, al colocar los productos y variedades de los quesos de Acatlán en el gusto de diferentes consumidores perpetuando los conocimientos y saberes.

commercial dynamics that disrupt the market, creating an uncertain and constantly changing landscape, as noted by Pesado & Rodríguez (2022). The distribution of inputs and substitutes for cheese and other dairy products generated by agroindustries creates an uneven competitive dynamic in the market. The wide range of products, from grocery stores to self-service markets, limits the participation of cheeses from Acatlán in the national market. However, the unique characteristics of these cheeses, combined with the strategies employed by the FPU, provide them with a degree of resilience.

Bridier (2011), recognizes that territorial certification can provide access to growing markets (such as traditional and ethnic products, fair trade) and significantly increase the income of producers. The Expo Fair is both a cultural and commercial strategy, that can introduce a distinctive mark or seal as a real tool for local development. More than just an economic interest, it's a recognized need to preserve and strengthen social and cultural identity.

Social actors have built relationships in different contexts, which enable coordination and organization for marketing cheeses from Acatlán. This has a positive collective effect by introducing Acatlán's cheeses and their varieties to a range of consumers, helping to preserve local knowledge and traditions.

Conclusions

Social relationships in the territory of Acatlán and the attributes of cheeses confirm the existence of a Localized Agro-Food System, the development of a Rural Agroindustry model, and a perceived and recognized cultural and traditional association that grants a quality distinction.

Three types of FPU coexist: (a) the Traditional FPU, which sells within a 4.5 km radius to customers seeking artisanal cheeses, (b) the Semi-industrial FPU, which supplies local demand and markets outside of Acatlán, and (c) the Industrial FPU, which focuses mainly on urban areas, distribution centers, and wholesale markets, while also serving the local market to a lesser extent.

The activities within FPU are divided into agricultural, domestic, transformation, and cheese sales tasks, generating benefits or a wage perception based on the work performed. In all models, cheeses are made using their own knowledge and recipes, which shapes the characteristics of flavor and smell, while preserving the genealogical and traditional contributions in the process.

Social relationships help increase and retain the added value of production, contributing to the peasant economy and strengthening the agro-food system. These

Conclusiones

Las relaciones sociales en el territorio de Acatlán y los atributos de los quesos confirman la existencia de un Sistema Agroalimentario Localizado, el desarrollo de un esquema de Agroindustria Rural y una percibida y reconocida asociación cultural y de tradición que confiere un distintivo de calidad.

Coexisten tres tipos de UPF: (a) la Tradicional que comercializa en un radio de 4.5 km, con clientes que buscan quesos artesanales, (b) la Semiindustrial que abastece la demanda local y mercados fuera de Acatlán y (c) la Industrial, que atiende principalmente las zonas urbanas, centros de distribución y centrales de abasto y en menor proporción el mercado local.

Las actividades en las UPF se dividen en agropecuarias, domésticas, de transformación y venta de queso; que generan beneficios o una percepción salarial en función al trabajo realizado. En todos los modelos se elaboran quesos a partir de su propio conocimiento y recetas, lo que condiciona las características de sabor y olor, conservando la aportación genealógica y tradicional en el proceso.

Las relaciones sociales permiten aumentar y retener el valor agregado de la producción, contribuyendo en la economía campesina, dando solidez al sistema agroalimentario. Las relaciones sociales ocurren mediante la ejecución de tareas de manera organizada, valorizando el saber-hacer, sus comportamientos alimentarios, sus redes y relaciones combinadas en la escala espacial. Sin embargo, los factores que afectan la actividad quesera incluyen un mercado saturado, aislamiento geográfico, bajo poder adquisitivo y competencia.

Los quesos tradicionales de Acatlán dependen de factores generales que determinan su éxito o fracaso, de los gustos y preferencias de los consumidores, de sus percepciones y las tendencias actuales, así como de las dinámicas sociales, al interior de la UPF ya que se consumen y comparten entre familiares y amigos en la comunidad.

El tejido social y la estrecha relación entre amigos o familiares que conocen o en algún momento se dedicaron al procesamiento del queso, ha influido en la transmisión de las técnicas queseras.

Fin de la versión en español

relationships occur through the organized execution of tasks, valuing know-how, food behaviors, and the networks and relationships formed across spatial scales. However, the factors affecting cheesemaking activity include a saturated market, geographic isolation, low purchasing power, and competition.

The traditional cheeses of Acatlán depend on general factors that determine their success or failure, including consumer tastes and preferences, their perceptions, and current trends, as well as social dynamics within the FPU, since the cheeses are consumed and shared among family and friends in the community.

The social structure and the close relationships among friends or family members who are familiar with—or at some point were involved in—cheese processing have influenced the transmission of cheesemaking techniques.

End of English version

References / Referencias

- Acuña Rodríguez, O. Y., Acuña Rodríguez B. O., Albesiano Fernández L. E., Pinzón Camargo L. C., & Cobo Mejía E. A. (2021). Identidad y familia campesina en torno a la producción de queso en el municipio de Paipa (Colombia). *Mundo Agrario*, vol. 22, núm 51. E177. <https://doi.org/10.24215/15155994e177>
- Boucher, F., Cervantes, E., Espinoza, A., & Requier, L. (Coords.). (2006). *Agroindustria rural y territorio: Los desafíos de los sistemas agroalimentarios localizados. Tomo 1* (pp. 255–282). UAEM.
- Bridier, B. (2011). La calificación territorial de los productos alimentarios. En F. Boucher & V. Brun (Coords.), *De la leche al queso: UPF rurales de América Latina* (pp. 125–140). Miguel Ángel Porrúa Editores.
- Cervantes, F., Villegas de Gante, A., Cesín, A., & Espinoza, A. (2008). *Los quesos mexicanos genuinos: Patrimonio cultural que debe rescatarse*. Editorial Mundi-Prensa.
- Chombo, P. (2008). El queso Cotija región de origen, un caso especial. En F. Cervantes, A. Villegas, A. Cesín, & A. Espinoza (Eds.), *Los quesos mexicanos genuinos: Patrimonio cultural que debe rescatarse* (pp. 149–162). Editorial Mundi-Prensa.
- El Sol de Hidalgo. (2017, 28 de diciembre). En riesgo la producción quesera en Hidalgo. *El Sol de Hidalgo*. <https://www.elsoldehidalgo.com.mx/local/en-riesgo-la-produccion-quesera-en-hidalgo-1348495.html>
- Espinosa Ayala, E., Arriaga Jordan, C. M., Boucher, F., & Espinoza Ortega, A. (2010). *La competitividad de un sistema agroalimentario localizado productor de quesos en el Altiplano Central de México* (1-16 p.). International EAAE-SYAL Seminar, 27-30 de octubre de 2010, Parma, Italia. s.n.
- Espinosa Ortiz, V. E., Rivera Herrejón, G., & García Hernández, L. A. (2008). Los canales y márgenes de comercialización de la leche cruda producida en sistema familiar (estudio de caso). *Veterinaria México*, 39(1).
- Frog, J. (2006). *Balade au pays des fromages: Les traditions fromagères en France* (268 p.). Éditions Quae.
- Gobierno del Estado de Hidalgo. Sistema Integral de Información del Estado de Hidalgo. (2016). *Acatlán*. Enciclopedia de los municipios. Pachuca de Soto, Hidalgo.
- González Santiago, M. V. (2007). Agroecología y agricultura como forma de vida. *Revista Brasileira de Agroecología*, 2(2), 415–418.
- Grass, F., Cervantes, F., & Palacios, M. (2012). *El enfoque de sistemas agroalimentarios localizados-SIAL: Propuestas para el fortalecimiento metodológico* (Reporte de Investigación 92, 46 p.). CIESTAAM, Universidad Autónoma Chapingo.
- Grass Ramírez, J. F., Cervantes Escoto, F., & Altamirano Cárdenas, J. R. (2013). Estrategias para el rescate y valorización del queso tenate de Tlaxco: Un análisis desde el enfoque de sistemas agroalimentarios localizados (SIAL). *Culturales*, 1(2), 9–54.
- Grass-Ramírez, J. F., & Cesín-Vargas, A. (2014). Situación actual y retrospectiva de los quesos genuinos de Chiautla de Tapia, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 11(2), 201–221. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722014000200005&lng=es&tlng=es
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020.). Estructura económica de Hidalgo, en síntesis: Minimonografía Censos Económicos 2020 Hidalgo. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx>
- Kiss, T. (2024, 23 de octubre). Identidad cultural. *Enciclopedia Concepto*. <https://concepto.de/identidad-cultural/>
- Pesado, F. A., & Rodríguez de Jesús, E. (2022). La inflación y sus efectos negativos en el sector lechero. *BM Editores*. <https://bmeditores.mx/ganaderia/la-inflacion-y-sus-efectos-negativos-en-el-sector-lechero/>
- Poméon, T., Boucher, F., Cervantes Escoto, F., & Fournier, S. (2006). *Las dinámicas colectivas en dos cuencas lecheras mexicanas: Tlaxco, Tlaxcala y Tizayuca, Hidalgo*. Comunicación aceptada por el Comité Científico del III Congreso Internacional de la Red SIAL “Alimentación y Territorios”. CNEARC, CIRAD, IICA-México, CIESTAAM-Universidad Autónoma Chapingo.
- Rubio, B. (2001). *Explotados y excluidos. Los campesinos latinoamericanos en la fase agroexportadora neoliberal* (239 p.). Editorial Plaza y Valdés.
- Salazar Sánchez, J., & Rojas Orozco, C. (2018). *La ganadería en ejidos y comunidades. Situación y perspectivas*. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria/Cámara de Diputados LXII Legislatura.
- Sánchez, G. (1984). Mulas, hatajos y arrieros en el Michoacán del siglo XIX. *Relaciones, estudios de historia y sociedad*, 5(17). El Colegio de Michoacán.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2021). *Hidalgo Infografía agroalimentaria 2021*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

- Vasek, O. M. (2011). El caso de los quesos artesanales de Corrientes, Argentina. En F. Boucher & V. Brun (Coords.), *De la leche al queso: Queserías rurales en América Latina* (pp. 199–223). IICA-CIRAD-Porrúa.
- Villegas de Gante, A., & Cervantes Escoto, F. (2011). La genuinidad y tipicidad en la revalorización de los quesos artesanales mexicanos. *Estudios Sociales*, 19(38), 146–164. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41719205006>
- Villegas, A. (2012). Los quesos mexicanos genuinos (Necesidad de su rescate y revalorización). En F. Cervantes & A. Villegas (Eds.), *La leche y los quesos artesanales en México* (pp. 123–142). Editorial Miguel Ángel Porrúa.
- Villegas de Gante, A., Cervantes-Escoto, F., Cesín Vargas, A., Espinoza-Ortega, A., Hernández-Montes, A., & Santos Moreno, A. (2014). *Atlas de los quesos mexicanos genuinos* (1ª. ed.). Editorial Colegio de Postgraduados.



EN

Iron removal in water using water cabbage (*Pistia stratiotes*)

ES

Remoción de hierro en agua usando lechuga de agua (*Pistia stratiotes*)

Marco Arturo Arciniega Galaviz^{1*}; Karla Patricia Rodríguez Fierro²; Arlet Yarely Leyva Loya²¹Universidad Autónoma de Occidente, Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología, México.²Universidad Autónoma de Occidente, Programa Educativo de Ingeniería Ambiental, México.

*Corresponding author:

***Corresponding author:**

marco.arciniega@uadeo.mx

ORCID ID: 0000-0001-8532-7130.

Received: March 4, 2025

Accepted: September 12, 2025

Published online:

October 21, 2025

Abstract

Heavy metals such as iron, contained in wastewater even at low concentrations, cause harm to plants, human health and animals. There are treatments which use plants to remove them through adsorption. The objective of the study was to evaluate the iron removal capacity of *Pistia stratiotes* in water. 12 different treatments were carried out using two biomass particle sizes (<0.46 millimeters and greater than 0.46 millimeters), two different amounts of biomass (0.1 and 1 gram) and three aqueous solutions with different iron concentrations (50, 10, and 1 ppm). To determine the amount of iron contained in the solution after the treatments, a Hach UV-Visible spectrophotometer model DR/2010 was used at a wavelength of 562 nanometers using ferrozine (sodium 4-[3-(pyridin-2-yl)-6-(4-sulfophenyl)-1,2,4-triazin-5-yl]benzene-1-sulfonate) to develop the color. The highest percentage of iron removal was 87.1% using biomass <0.46 millimeters, 0.1 grams of biomass and an iron concentration of 10 ppm. Smaller particles can adsorb a greater amount of biomass, and using larger amounts of biomass also produces greater contact of the iron with the biomass particles, increasing the possibility of contact and thus the adhesion of the metal to the biomass.

Keywords: Adsorption, eutrophication, water cabbage, aquatic plants, wastewater treatment.**Resumen**

Los metales pesados como el hierro, presentes en aguas residuales aún en bajas concentraciones, causan daños a plantas, a la salud de las personas y animales. Existen tratamientos que emplean plantas para eliminarlos a través de la adsorción. El objetivo del estudio fue evaluar la capacidad de remoción de hierro presente en agua mediante el uso de *Pistia stratiotes*. Se realizaron 12 distintos tratamientos empleando dos tamaños de partículas de biomasa (<0.46 milímetros y mayor a 0.46 milímetros), dos diferentes cantidades de biomasa (0.1 y 1 gramo) y tres soluciones acuosas con diferentes concentraciones de hierro (50, 10 y 1 ppm). Para determinar la cantidad de hierro contenido en la solución después de los tratamientos, se empleó un espectrofotómetro UV-Visible modelo DR/2010 de Hach, a una longitud de onda de 562 nanómetros empleando ferrozina (sodio 4-[3-(piridin-2-yl)-6-(4-sulfopfenil)-1,2,4-triazin-5-yl]benzene-1-sulfonate) para desarrollar el color. El mayor porcentaje de remoción fue 87.1 % de hierro utilizando la biomasa <0.46 milímetros, 0.1 gramos de biomasa y una concentración de hierro de 10 ppm. Las partículas de menor tamaño pueden adsorber una mayor cantidad de biomasa, y el utilizar mayores cantidades de biomasa también produce un mayor contacto del hierro con las partículas de la biomasa, aumentando la posibilidad de contacto y con esto la adhesión del metal en la biomasa.

Palabras clave: Adsorción, eutrofización, repollito de agua, plantas acuáticas, tratamiento de aguas residuales

Please cite this article as follows (APA 7): Arciniega Galaviz, M. A., Rodríguez Fierro, K. P., & Leyva Loya, A. Y. (2025). Iron removal in water using water cabbage. (*Pistia stratiotes*). *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 5, 2025. doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2025.05.12>

Introduction

Currently hydric resources are mainly affected by human and industrial actions which contribute foreign elements to the water when it is used, including organic matter, heavy metals, substances that modify the pH, agrochemicals, pathogenic microorganisms, which break the balance of the ecosystems within the bodies of water (Baños et al., 2022), it is necessary to eliminate these foreign elements (contaminants) and thus reduce damage to the environment.

Concern about environmental pollution has led to increased research and development of sustainable technologies and increasingly strict regulations, which allows reducing polluting emissions into the environment through the introduction of clean technologies in industrial processes (Telwesa, 2023), for example heavy metals are considered toxic to plants, animals and human beings, even in small concentrations and, are one of the pollutants in industrial wastewater that have the greatest impact on the environment (Facsa, 2017). They are considered one of the most dangerous groups due to their poor biodegradability, high toxicity at low concentrations and ability to accumulate in several organisms. (Mancilla et al., 2012).

Commonly used processes to treat wastewater containing heavy metals include activated carbon, ion exchange, solvent extraction, micro/nano/ultrafiltration, reverse osmosis and unconventional flotation (Cardona et al., 2013). Some of these processes can involve high costs and high energy consumption, among them reverse osmosis, treatments using ozone or ultraviolet light, which represent an economic limitation (Pabón et al., 2020). Therefore, there is a growing interest in using natural or residual materials as bioadsorbents, for example, residual products from industrial or agricultural operations are used to remove contaminants and are available in large quantities (Duany et al., 2022). Bark and leaves of conifers (*Pinophyta*), rice husk (*Oryza sativa*), walnuts (*Juglans regia*), groundnuts (*Arachis hypogaea*), orange peel (*Citrus sinensis*), banana peel (*Musa paradisiaca*) (Cardona et al., 2013) and olive pits (*Olea europea*) are some of the solids used to adsorb contaminants found in water (Table 1).

Consequently, this research aims to evaluate a natural resource such as water cabbage to eliminate iron in water.

There are investigations in which natural materials were used to eliminate contaminants, Pérez et al. (2020) evaluated the potential use of cocoa shell for the adsorption of chromium in aqueous solution, with which they achieved a maximum removal of 24%, at a

Introducción

Actualmente los recursos hídricos son afectados principalmente por acciones humanas e industriales que aportan elementos extraños al agua al momento de usarla, entre ellos materia orgánica, metales pesados, sustancias que alteran el pH, agroquímicos, microorganismos patógenos, los cuales rompen el equilibrio de los ecosistemas presentes en los cuerpos de agua (Baños et al., 2022), es necesario la eliminación de estos elementos extraños (contaminantes) y reducir de esta manera daños al ambiente.

La preocupación por la contaminación ambiental ha llevado a una mayor investigación y desarrollo de tecnologías sostenibles y a regulaciones cada vez más estrictas, esto permite reducir las emisiones contaminantes al ambiente mediante la introducción de tecnologías limpias en los procesos industriales (Telwesa, 2023), por ejemplo los metales pesados son considerados tóxicos para plantas, animales y seres humanos, aun en pequeñas concentraciones y, son uno de los contaminantes de las aguas residuales industriales que mayor impacto tienen en el ambiente (Facsa, 2017). Se consideran uno de los grupos más peligrosos debido a su escasa biodegradabilidad, alta toxicidad en bajas concentraciones y capacidad de acumularse en varios organismos (Mancilla et al., 2012).

Los procesos comúnmente utilizados para tratar aguas residuales que contienen metales pesados incluyen carbón activado, intercambio iónico, extracción con solventes, micro/nano/ultrafiltración, ósmosis inversa y flotación no convencional (Cardona et al., 2013). Algunos de estos procesos pueden implicar altos costos y un consumo de energía elevado, entre ellos la osmosis inversa, tratamientos donde es usado el ozono o luz ultravioleta representando una limitante económica (Pabón et al., 2020). Por lo tanto, existe un interés creciente en utilizar materiales naturales o residuales como bioadsorbentes, por ejemplo, productos residuales de operaciones industriales o agrícolas son utilizados con el fin de eliminar contaminantes y se encuentran disponibles en grandes cantidades (Duany et al., 2022). Corteza y hojas de coníferas (*Pinophyta*), cáscara de arroz (*Oryza sativa*), nueces (*Juglans regia*), maní (*Arachis hypogaea*), cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) (Cardona et al., 2013) y huesos de aceituna (*Olea europea*) son algunos de los sólidos utilizados para adsorber contaminantes presentes en agua (Cuadro 1).

En consecuencia, en esta investigación se busca evaluar un recurso natural como la lechuga de agua, para eliminar hierro en agua.

Existen investigaciones en las que usaron materiales naturales para eliminar contaminantes, Pérez et al.

Table 1. Research where biomasses were used to eliminate heavy metals.**Cuadro 1. Investigaciones donde se emplearon biomásas para eliminar metales pesados.**

Biomass / Biomasa	Heavy Metal pesado eliminado / Metal pesado eliminado	Autores
Tamarind husk / Cáscara de tamarindo	Cd, Cu, Pb y Zn	Vargas et al. (2012)
Cocoa shell / Cáscara de cacao	Pb	Pérez et al. (2020)
Dried orange peel / Cáscara de naranjas secas	Pb y Zn	Cardona et al. (2013)
Cassava peel / Cáscara de yuca	Pb	Albis et al. (2016)
Sugarcane bagasse / Gabazo de caña	Cu	Cascaret et al. (2020)
Fungi (<i>Aspergillus</i> & <i>Penicillium</i>) / Hongos (<i>Aspergillus</i> & <i>Penicillium</i>)	Pb, Cr y Cd	Vallejo et al. (2021)

Source: Authors' self-made
Fuente: Elaboración propia

temperature of 28 °C, a particle diameter of 0.8 mm, a mass of material to solution volume ratio of 5 g·L⁻¹, a pH of 6 and a contact time of 4 hours.

Dried crushed and crosslinked orange peels were studied in order to evaluate the percentage of Cu (II) removal by means of bioadsorption, in this investigation a Cu (II) removal percentage of 99% was reached (Arciniega, 2023). On the other hand, Albis et al. (2016) achieved a Zn (II) removal percentage of 99.5% and the best removal capacity was 9.94 mg of Zn (II) per gram of orange peel.

Acosta et al. (2017) evaluated the absorption capacity of citric acid-modified cassava peel for Pb (II) removal in aqueous solutions simulating industrial effluents, the lead removal rate was up to 99% and the equilibrium time was 20 to 25 minutes. The lead removal capacity of the modified cassava peel was on average 95%, slightly higher than the 86% of the unmodified cassava peel.

On the other hand, Pinzón & Cardona (2008) reported that orange peel is an excellent bioadsorbent material for Cr (III) ions found in liquid solution with concentrations up to 100 ppm; obtaining adsorption percentages of 61.2 % for operating conditions of pH 5, contact time of 60 hours, particle size in the range of 0.30-0.42 mm and adsorbent material to solution volume ratio of 4 g·L⁻¹.

Moreira et al. (2008), removed iron through the bioadsorption process using an initial concentration of 43.95 mg·L⁻¹ and Saminiego et al. (2016) used an orange peel biomass to remove iron with an initial concentration of mg·L⁻¹, these authors being a reference for the initial iron concentrations of this research.

Floating macrophytes include a diverse group of plants, including *Eichhornia crassipes*, *P. stratiotes*, *Salvinia* spp., *Hydrocotyle ranunculoides* and some species of

(2020) evaluaron el uso potencial de la cáscara de cacao para la adsorción de cromo en solución acuosa, con lo cual lograron una eliminación máxima del 24 %, a una temperatura de 28 °C, un diámetro de partícula de 0.8 mm, una relación masa de material a volumen de solución de 5 g·L⁻¹, un pH de 6 y un tiempo de contacto de 4 horas.

Se estudiaron cáscaras de naranjas secas, trituradas y con reticulación, con el fin de evaluar el porcentaje de remoción de Cu (II) por medio de bioadsorción, en esta investigación se alcanzó un porcentaje de remoción de Cu (II) del 99 % (Arciniega, 2023). Por otra parte, Albis et al. (2016), alcanzaron un porcentaje de remoción de Zn (II) de 99.5 % y la mejor capacidad de remoción fue de 9.94 mg de Zn (II) por cada gramo de cáscara de naranja.

Acosta et al. (2017), evaluaron la capacidad de absorción de la cáscara de yuca modificada con ácido cítrico para la eliminación de Pb (II) en disoluciones acuosas simulando efluentes industriales, la tasa de eliminación del plomo fue de hasta el 99 % y el tiempo de equilibrio fue de 20 a 25 minutos. La capacidad de eliminación de plomo de la cáscara de yuca modificada fue en promedio del 95 %, ligeramente superior al 86 % de la cáscara de yuca no modificada.

Por otra parte, Pinzón & Cardona (2008) reportaron que la cáscara de naranja es un excelente material bioadsorbente de iones Cr (III) presentes en disolución líquida con concentraciones hasta de 100 ppm; obteniéndose porcentajes de adsorción de 61.2 % para condiciones de operación de pH de 5, tiempo de contacto de 60 horas, tamaño de partícula en el rango de 0.30-0.42 mm y relación material adsorbente a volumen de disolución de 4 g·L⁻¹.

Moreira et al. (2008), eliminaron hierro mediante el proceso de bioadsorción utilizando una concentración

duckweed (genus *Lemna*, genus *Spirodella*) (Martelo & Lara, 2012).

Water cabbage (*Pistia stratiotes*) floats on the surface of the water, with roots hanging below the floating leaves, it is a perennial monocotyledonous plant with thick and soft leaves that form rosettes. The leaves can be up to 14 centimeters long with parallel, lightly wavy veins covered with short hairs that form a basket-like structure that traps air bubbles, increasing the plant's buoyancy (Akimbile & Yosoff, 2012). It competes with native flora and fauna altering ecosystems, and reduces nitrogen and phosphorus levels causing an ecological imbalance in water bodies (Odjegba & Fasidi, 2004). In addition, it increases sedimentation rates and decreases the acceleration of water velocity, causing the degradation of fish nesting sites increasing nutrient loads (Mendoza et al., 2018). According to Meza et al. (2013), *P. stratiotes* can bioaccumulate in the roots, 463 mg of lead or 555 mg of chromium per kilogram of biomass.

P. stratiotes represents a problem in water bodies since it is considered a noxious weed (Rodríguez et al., 2022). Among the negative effects is the decrease in the oxygen exchange capacity between the air-water interface, preventing the transfer of oxygen and the penetration of light into the water. Furthermore, when it dies, it settles at the bottom of the water body producing anaerobic conditions generating bad odors, the shadow projected by water cabbage inhibits the growth of phytoplankton and, therefore, the oxygenation of water bodies is affected by preventing the entry of sunlight into the water column (Cárdenas, 2023). In addition, it provides an ideal habitat for insects and vectors that could transmit diseases to people such as malaria (*Plasmodium malariae*), encephalitis and filaria (*Wuchereria bancrofti*). On the other hand, the excessive growth of this aquatic plant has economic consequences by directly interfering with navigation in water bodies, hindering fishing activity, causing economic losses in tourism activities, hampering the operation of hydroelectric plant turbines, clogging irrigation and drainage canals in agricultural systems, and finally increasing evapotranspiration and accelerating reservoir silting (Meza et al., 2013). Therefore, its use in treatment allows on the one hand, to take advantage of the material and, on the other hand, to reduce a water pollutant such as iron.

Iron can reach water bodies through metallurgical, steel and mining companies (Castro, 2015), although iron is essential for the oxygen carrying in the human body and fundamental for photosynthesis and phytoplankton growth, it can have adverse effects on ecosystems and human health when it is found in excess in the environment, for example the formation of atmospheric

initial of 43.95 mg·L⁻¹ y Saminiego et al. (2016) utilizaron una biomasa de cáscara de naranja para eliminar hierro con una concentración inicial de 50 mg·L⁻¹, siendo estos autores una referencia para las concentraciones iniciales de hierro de esta investigación.

Los macrófitos flotantes incluyen un grupo diverso de plantas, entre ellas destacan *Eichhornia crassipes*, *P. stratiotes*, *Salvinia* spp., *Hydrocotyle ranunculoides* y algunas especies de lentejas de agua (género *Lemna*, género *Spirodella*) (Martelo & Lara, 2012).

La *Pistia stratiotes* flota en la superficie del agua, con raíces colgando debajo de las hojas flotantes, es una planta perenne monocotiledónea con hojas gruesas y suaves que forman rosetas. Las hojas pueden tener hasta 14 centímetros de largo con las venas paralelas, onduladas ligeras cubiertas con pelos cortos que forman como la estructura de una cesta que atrapan burbujas de aire, aumentando la flotabilidad de la planta (Akimbile & Yosoff, 2012), compete con la flora y fauna nativa alterando ecosistemas, reduce los niveles de nitrógeno y fósforo provocando un desequilibrio ecológico en los cuerpos de agua (Odjegba & Fasidi, 2004). Además, aumenta las tasas de sedimentación y disminuye la aceleración de la velocidad del agua, provocando la degradación de los sitios de anidación de peces aumentando la carga de nutrientes (Mendoza et al., 2018). De acuerdo con Meza et al. (2013), la *P. stratiotes* puede bioacumular en las raíces, 463 mg de plomo o 555 mg de cromo por kilogramo de biomasa.

La *P. stratiotes* representa un problema en cuerpos de agua ya que se considera como maleza nociva (Rodríguez et al., 2022). Dentro de los efectos negativos está la disminución de la capacidad de intercambio de oxígeno entre la interfaz aire-agua, evitando la transferencia de oxígeno y la penetración de luz al agua. Además, al morir, se deposita en el fondo del cuerpo de agua produciendo condiciones anaerobias generando malos olores, la sombra proyectada por la lechuga de agua inhibe el crecimiento del fitoplancton y, por lo tanto, la oxigenación de los cuerpos de agua se ven afectados al impedir la entrada de luz solar a la columna de agua (Cárdenas, 2023). Además, proporciona un hábitat ideal para insectos y vectores que pudieran transmitir enfermedades a personas como la malaria (*Plasmodium malariae*), encefalitis y filaria (*Wuchereria bancrofti*). Por otro lado, el crecimiento excesivo de esta planta acuática tiene consecuencias económicas al interferir directamente en la navegación en los cuerpos de agua, entorpece la actividad pesquera, causa pérdidas económicas en las actividades turísticas, dificulta la operación de las turbinas de las plantas hidroeléctricas, obstruye los canales de riego y drenaje en los sistemas agrícolas y

pollutants such as iron oxides produces the acidification of water bodies (Granados et al., 2010).

These phenomena can deteriorate soil quality and affect aquatic life, as well as plant health by hindering the absorption of other essential nutrients. Regarding human health, inhalation of iron particles can exacerbate lung diseases and cause respiratory problems. Furthermore, the presence of iron in drinking water can be harmful to organs such as the liver, heart, and pancreas, and negatively affect the nervous system and cognitive function (Vargas & Brenes, 2011).

Eutrophication is a process by which the quality of water resources deteriorates, it results from the accumulation of nutrients, especially nitrogen and phosphorus, It determines the use of these nutrients and has significant ecological, health and economic impacts at the local level (Fontúrbel, 2005). This phenomenon is mainly due to human activities such as agriculture, livestock farming, poor solid waste management and the discharge of wastewater from industries that contribute nutrients such as phosphorus, potassium and nitrogen to water bodies. The presence of large amounts of nutrients favors the reproduction and growth of invasive plants. This is followed by problems for aquatic ecosystems, as plants reduce the entry of light into the water column, affecting the process of photosynthesis, in addition, when plants die, they are degraded by bacteria that use the dissolved oxygen in the water to carry out the oxidation process. Added to the above there are economic problems in communities due to troubles with navigation and fishing (FAO, 1997).

The uncontrolled presence of heavy metals (MP by its Spanish abbreviation) can have serious consequences for both, human life and the ecosystem (Carolin et al., 2017). MP can be found both naturally in the earth's crust in several types of minerals and in industrial pollution processes (Tejeda et al., 2015). Iron is a heavy metal with a lustrous black or bluish-gray color, is ductile, malleable, tenacious, extremely hard and heavy, oxidizes upon contact with air, and has ferromagnetic properties (Secretaría de Economía, 2013). The main conventional methods for treating heavy metals in aqueous solutions are chemical precipitation, coagulation-flocculation, flotation, ion exchange resins and membrane filtration (Monreal & Hernández, 2015).

Bioadsorption is defined as a physicochemical process for the uptake of both organic and inorganic compounds found in an aqueous solution, in order to remove or recover them from their environment (Mejía, 2006). In bioadsorption, the uptake of metal ions occurs due to the interactions that develop among the ions found in the aqueous solution and the functional groups exposed

por último incrementa la evapotranspiración y acelera el azolvamiento del embalse (Meza et al., 2013). Por lo que su utilización con el tratamiento permite por una parte aprovechar el material y por otra reducir un contaminante de las aguas como es el hierro.

El hierro puede llegar a los cuerpos de agua a través empresas metalúrgicas, siderúrgicas y minerías (Castro, 2015), aunque el hierro es esencial para el transporte de oxígeno en el cuerpo humano y fundamental para la fotosíntesis y crecimiento del fitoplancton, puede tener efectos adversos en los ecosistemas y la salud humana cuando se encuentra en exceso en el ambiente, por ejemplo la formación de contaminantes atmosféricos como óxidos de hierro produce la acidificación de cuerpos de agua (Granados et al., 2010).

Estos fenómenos pueden deteriorar la calidad del suelo y afectar la vida acuática, así como la salud de las plantas al dificultar la absorción de otros nutrientes esenciales. En cuanto a la salud humana, la inhalación de partículas de hierro puede exacerbar enfermedades pulmonares y causar problemas respiratorios. Además, la presencia de hierro en el agua potable puede ser perjudicial para órganos como el hígado, corazón y páncreas, afecta negativamente el sistema nervioso y la función cognitiva (Vargas & Brenes, 2011).

La eutrofización es un proceso por el cual se deteriora la calidad de los recursos hídricos, resulta de la acumulación de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, condiciona el uso de estos nutrientes y tiene importantes impactos ecológicos, sanitarios y económicos a nivel local (Fontúrbel, 2005). Este fenómeno se debe principalmente a las actividades que realiza el hombre como la agricultura, ganadería, mal manejo de residuos sólidos y descarga de aguas residuales de las industrias que aportan nutrientes como fósforo, potasio y nitrógeno a los cuerpos de agua. Al existir gran cantidad de nutrientes favorece la reproducción y crecimiento de plantas de una manera invasiva. Posteriormente vienen los problemas a los ecosistemas acuáticos, ya que las plantas reducen la entrada de luz a la columna de agua afectando el proceso de la fotosíntesis, además, al morir las plantas son degradadas por bacterias las cuales aprovechan el oxígeno disuelto en el agua para realizar el proceso de oxidación. Aunado a lo anterior existen problemas económicos en las comunidades debido a problemas con la navegación y pesca (FAO, 1997).

La presencia descontrolada de metales pesados (MP) puede provocar graves consecuencias, tanto para la vida humana, como para el ecosistema (Carolin et al., 2017). Los MP se pueden encontrar tanto naturalmente en la corteza terrestre en diversos tipos de minerales

on the organism's outer surface (Farooq et al., 2010). The functional groups that have the greatest relevance in the bioadsorption process are the carboxyl, hydroxyl, sulfate, phosphate and amine groups (He & Chen, 2014), that is why *P. stratiotes*, is considered an excellent bio-adsorbent, since it is an aquatic plant with wide, thick, very porous and hairy leaves, its roots are abundant and long, this means that it has a large surface area for heavy metals such as iron to be adsorbed by it.

The objective of the research was to evaluate the iron removal capacity present in water through the use of *P. stratiotes* biomass, where two different amounts of biomass, two different particle sizes and three different concentrations of iron in aqueous solution were used, due to the negative effects that this metal has on aquatic ecosystems and human health.

Materials and Methods

The research was experimental and exploratory with a quantitative approach which was developed in the unit operations laboratory of the Universidad Autónoma de Occidente unidad regional, Los Mochis. 12 treatments were performed, consisting of two different particle sizes, two different amounts of biomass and three different concentrations of iron in aqueous solution, the above with the aim of determining which treatment achieves the highest percentage of iron removal.

Harvesting water cabbage

P. stratiotes plants were collected from an irrigation canal, approximately 25 to 30 complete individuals. The collected macrophytes had a foliage diameter of 15 to 20 centimeters and the root was approximately 25 centimeters long. Individuals who were not withered were sought, had no damaged leaves, and were not yellow or brown in color, indicating health. They were collected in april due to low water levels in the water bodies, which allowed for greater conglomeration of the plants.

Because the adsorption phenomenon is the physical union of contaminants to the surface of the biomass (Sánchez et al., 2013), two particle sizes were used, a 0.46 millimeter sieve was used, thus obtaining two different sizes, <0.46 and >0.46 millimeters.

Plants were washed with drinking water to remove sludge and any other solids, then the leaves were cut into small pieces so they could be dried in a laboratory oven by forced air convection, at 60 °C for 48 hours.

The biomass was crushed in a mortar, passed through a 0.46 mm mesh screen and thus to obtain two different particle sizes in order to evaluate whether there is a

como en procesos de contaminación industrial (Tejeda et al., 2015). El hierro es un metal pesado que tiene un color negro lustroso o gris azulado, dúctil, maleable, tenaz, es extremadamente duro y pesado, se oxida al contacto con el aire y tiene propiedades ferromagnéticas (Secretaría de Economía, 2013). Los principales métodos convencionales de tratamiento de metales pesados en soluciones acuosas está la precipitación química, coagulación-floculación, flotación, resinas de intercambio iónico y filtración por membrana (Monreal & Hernández, 2015).

La bioadsorción se define como un proceso fisicoquímico de captación de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos presentes en una solución acuosa, con el fin de remover o recuperarlos del medio en que se encuentran (Mejía, 2006). En la bioadsorción, la captación de los iones metálicos se produce debido a las interacciones que se desarrollan entre los iones presentes en la solución acuosa con los grupos funcionales que están expuestos en la superficie exterior del organismo (Farooq et al., 2010). Los grupos funcionales que presentan una mayor relevancia en el proceso de bioadsorción son los grupos carboxilo, hidroxilo, sulfato, fosfato y amina (He & Chen, 2014), es por esto por lo que la *P. stratiotes*, es considerada un bioadsorbente excelente, ya que es una planta acuática con hojas anchas, gruesas, muy porosa y con vellosidad, sus raíces son abundantes y largas, esto hace que tenga una superficie grande para que metales pesados como el hierro sea adsorbido por ella.

El objetivo de la investigación fue evaluar la capacidad de remoción de hierro presente en agua mediante el uso de la biomasa de *P. stratiotes*, en donde se emplearon dos diferentes cantidades de biomasa, dos distintos tamaños de partículas y tres diferentes concentraciones de hierro en solución acuosa, debido a los efectos negativos que tiene este metal en los ecosistemas acuáticos y salud de las personas.

Materiales y Métodos

La investigación fue de tipo experimental y exploratorio con un enfoque cuantitativo la cual se desarrolló en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad Autónoma de Occidente unidad regional, Los Mochis. Se realizaron 12 tratamientos, que consistieron en dos diferentes tamaños de partícula, dos distintas cantidades de biomasa y tres diferentes concentraciones de hierro en solución acuosa, lo anterior con la finalidad de determinar en cual tratamiento se obtiene un mayor porcentaje de remoción de hierro.

Recolección de la lechuga de agua

Se recolectaron plantas de *P. stratiotes* en un canal que conduce agua para riego, aproximadamente entre

Figure 1. Obtaining two different particle sizes from the biomass.

Figura 1. Obtención de dos diferentes tamaños de partículas de la biomasa.



Source: Authors' self-made
Fuente: Elaboración propia

significant difference in the removal of heavy metals using two different particle sizes (Figure 1).

Iron bioadsorption

Three different concentrations of iron were used in aqueous solutions of 50, 10 and 1 ppm, which were prepared in the laboratory using hydrated hepta iron sulfate from the company JT Baker of Mexico, 0.050 grams of the reagent were weighed and filled into a one liter flask, for the 10 and 1 ppm solutions, the same procedure was followed, weighing 0.010 and 0.001 grams. It is important to note that the Mexican Official Standard NOM-127-SSA1-2021 indicates a concentration of $0.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ as the permissible limit for iron in drinking water.

To perform the different iron removal treatments, 0.1 and 1 gram of biomass were placed in beakers to which 200 milliliters of the aqueous solution with iron was added with different concentrations of 50, 10, and 1 ppm. The solution was stirred using a thermo stirring plate and a magnetic bar, and the biosorption process was carried out at a speed of 250 rpm for 90 minutes

The solution was left to stand for 24 hours to allow the solids that make up the biomass to settle. Finally, a 50-milliliter sample was taken for analysis using a Hach DR/2010 UV-Visible spectrophotometer. To determine the iron content in the solution, a wavelength of 562 nanometers was applied, using the reagent ferrozine (sodium 4-[3-(pyridin-2-yl)-6-(4-sulfophenyl)-1,2,4-triazin-5-yl]benzene-1-sulfonate) to develop color.

25 y 30 individuos completos. Las macrófitas recolectadas tenían un diámetro en su follaje entre 15 y 20 centímetros y aproximadamente la raíz contaba con una longitud de 25 centímetros de largo. Se buscaron individuos que no estuvieran marchitos, sin hojas dañadas y que no presentaran un color amarillo o café con la finalidad de que indicaran estar sanos. Fueron recolectadas en el mes de abril debido a que los cuerpos de agua presentaban un nivel bajo de agua lo que permitió una mayor conglomeración de las plantas.

Debido a que el fenómeno de adsorción es la unión física de los contaminantes a la superficie de la biomasa (Sánchez et al., 2013), se emplearon dos tamaños de partículas, se utilizó un tamiz de 0.46 milímetros, obteniendo así, dos distintos tamaños, <0.46 y >0.46 milímetros.

Las plantas se lavaron con agua potable para eliminar lodos y cualquier otro sólido, posteriormente las hojas se cortaron en pedazos pequeños para poderlos secar en una estufa de laboratorio por convección de aire forzado, a 60°C durante 48 horas.

La biomasa se trituyó en un mortero, se hizo pasar por una malla de 0.46 mm de abertura y así obtener dos diferentes tamaños de partículas con la finalidad de evaluar si existe una diferencia significativa en la remoción de metales pesados empleando dos diferentes tamaños de partículas (Figura 1).

Bioadsorción de hierro

Se emplearon tres diferentes concentraciones de hierro en soluciones acuosas de 50, 10 y 1 ppm, las

Table 2. Treatments performed for iron adsorption using water cabbage biomass.
Cuadro 2. Tratamientos realizados para adsorción de hierro utilizando una biomasa de lechuga de agua.

Amount of biomass / Cantidad de Biomasa	Particle size / Tamaño de la partícula	Iron concentratioin aqueous solution / Concentración de hierro en la solución acuosa
0.1 grams / 0.1 gramos	<0.46 centimeters / <0.46 centímetros	50 ppm
		10 ppm
		1 ppm
	>0.46 centimeters / >0.46 centímetros	50 ppm
		10 ppm
		1 ppm
1 gram / 1 gramo	<0.46 centimeters / <0.46 centímetros	50 ppm
		10 ppm
		1 ppm
	>0.46 centimeters / >0.46 centímetros	50 ppm
		10 ppm
		1 ppm

Source: Authors' self-made
Fuente: Elaboración propia

Descriptive statistical analysis

Two amounts of biomass, two particle sizes and three different concentrations of iron in aqueous solution were evaluated (Table 2), giving a total of 12 different treatments. A descriptive statistical analysis was performed and frequency tables were obtained, giving percentages for each treatment.

Results and Discussion

For the three treatments where an initial concentration of 50 ppm iron was used, the highest removal percentage was 80% and was obtained using 1 gram of biomass and a particle size <0.46 millimeters (Figure 2).

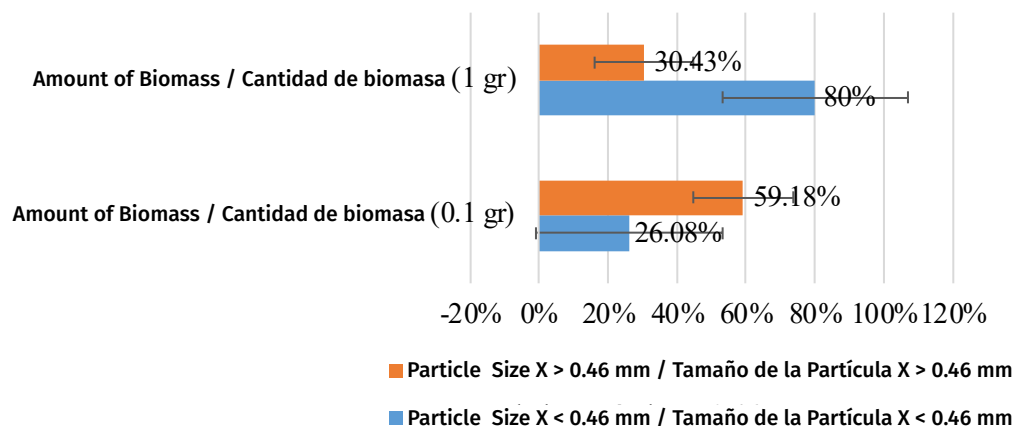
According to Tejeda et al. (2015), adsorption takes place inside particles, mainly within the pores of the biomass and is directly proportional to the volume of the adsorbent. In this case when there is a greater amount of biomass, the contact between the absorbate (iron) and the adsorbent (water cabbage) increases, and thus a greater amount of metal adheres to the biomass. It can be observed that the highest removal percentages resulted from using a greater amount of biomass (1 gram).

Of the three treatments where an aqueous solution with 10 ppm of iron was used, the one that obtained the highest percentage of removal (87%) was where a particle size <0.46 millimeters and 0.1 grams of biomass were used (Figure 3).

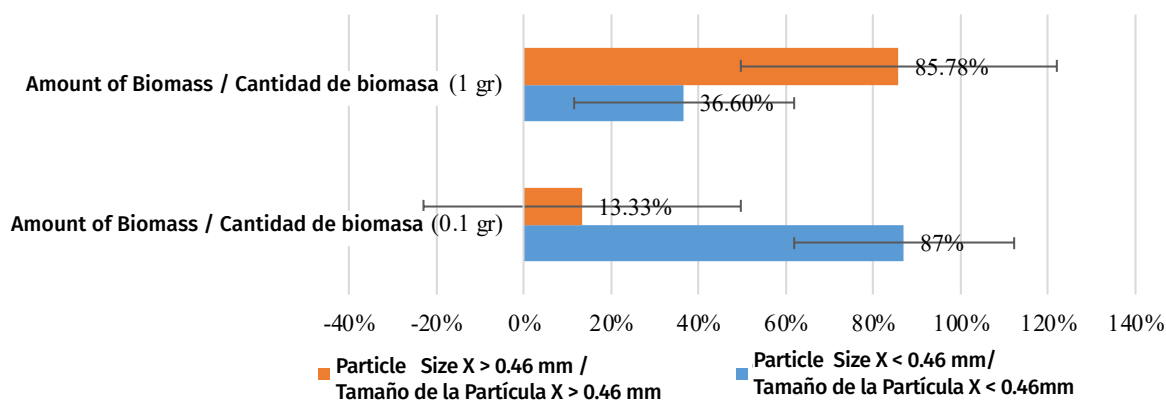
cuales fueron preparadas en el laboratorio utilizando sulfato de hierro hepta hidratado de la empresa J.T. Baker de México, se pesaron 0.050 gramos del reactivo y se aforó en un matraz de un litro, para las soluciones de 10 y 1 ppm, se siguió el mismo procedimiento pesando 0.010 y 0.001 gramos. Es importante señalar que la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, indica como límite permisible de hierro en agua potable la concentración de 0.3 mg·L⁻¹.

Para realizar los diferentes tratamientos de remoción de hierro, se colocaron 0.1 y 1 gramo de la biomasa en vasos de precipitado al cual se le adicionó 200 mililitros de la solución acuosa con hierro con las diferentes concentraciones de 50, 10 y 1 ppm. Se agitó la solución utilizando una plancha termoagitadora y una barra magnética, el proceso de bioadsorción se realizó a una velocidad de 250 rpm durante 90 minutos.

La solución se dejó reposar por 24 horas para realizar el proceso de sedimentación de los sólidos que conforman la biomasa. Por último, se tomó una muestra de 50 mililitros para ser analizada en el espectrofotómetro UV-Visible modelo DR/2010 de Hach. Para determinar la cantidad de hierro contenido en la solución, se aplicó una longitud de onda de 562 nanómetros en el cual se empleó el reactivo ferrozine (sodium 4-[3-(pyridin-2-yl)-6-(4-sulfophenyl)-1,2,4-triazin-5-yl]benzene-1-sulfonate) para desarrollar color.

Figure 2. Removal percentages in aqueous solution of 50 ppm iron.**Figura 2. Porcentajes de remoción en una solución acuosa de 50 ppm de hierro.**

Source: Authors' self-made
Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Porcentajes de remoción en una solución acuosa de 10 ppm de hierro.**Figure 3. Removal percentages in an aqueous solution of 10 ppm.**

Source: Authors' self-made
Fuente: Elaboración propia

There is a higher percentage of heavy metal removal in bioadsorbents where there is a greater contact surface between the heavy metal and the bioadsorbent (Sánchez et al., 2020). Therefore, with a small particle size, there is better contact between the iron and the bioadsorbent, increasing the possibility of the iron adhering to the biomass of *P. stratiote*.

For the three treatments where 1 ppm of iron was used, the highest percentage of removal (71.42%) occurred for the biomass where a particle size >0.46 millimeters was used with 0.1 grams of biomass (Figure 4).

In general, it can be said that the dead biomass of the water cabbage leaf with a particle size <0.46 millime-

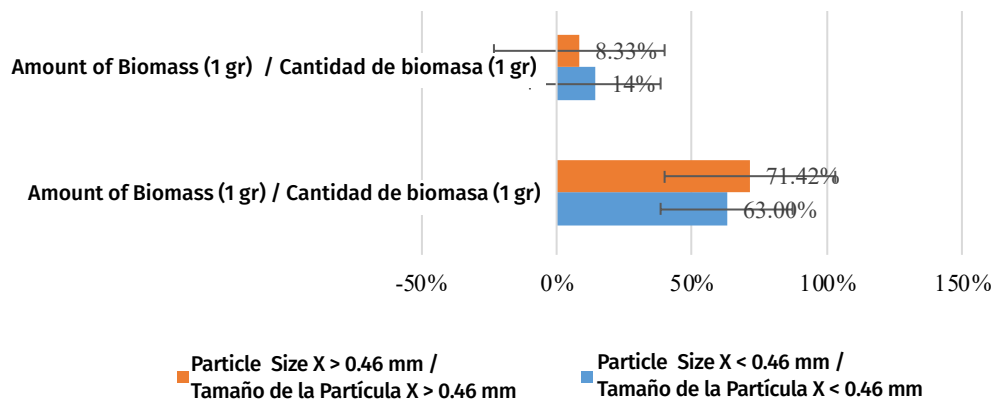
Análisis estadístico descriptivo

Se evaluaron dos cantidades de biomasa, dos tamaños de la partícula y tres diferentes concentraciones de hierro en solución acuosa (Cuadro 2), dando un total de 12 distintos tratamientos. Se realizó un análisis estadístico descriptivo donde se obtuvieron tablas de frecuencia obteniendo porcentajes para cada tratamiento.

Resultados y Discusión

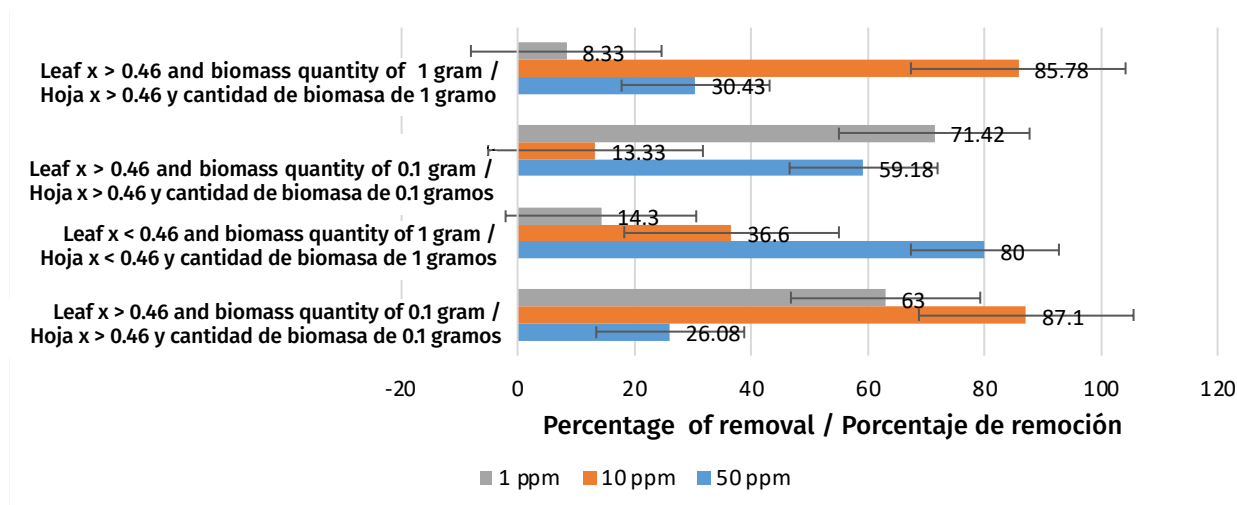
Para los tres tratamientos en donde se utilizó una concentración inicial de 50 ppm de hierro, el mayor porcentaje de remoción fue de 80 % y se obtuvo em-

Figure 4. Removal percentages in aqueous solution of 1 ppm iron.
Figura 4. Porcentajes de remoción en una solución acuosa de 1 ppm de hierro.



Source: Authors' self-made
Fuente: Elaboración propia

Figure 5. Results of the 12 treatments performed.
Figura 5. Resultados de los 12 tratamientos realizados.



ters, turned out to have a higher percentage of removal compared to the particle larger than 0.46 millimeters (Figure 5).

The treatment that showed the highest percentage of removal (87.1%) was with dead leaf biomass using a particle size of <0.46 millimeters.

The higher the contaminant concentration, the more contaminant particles are available to adhere to the adsorbent surface. This can be seen in the difference in removal percentages for solutions containing only 1 ppm of iron and those containing 10 or 50 ppm of iron. With a higher concentration of iron in the water, more molecules are available to collide with the adsorbent surface and adhere resulting in a higher adsorption rate.

pleando 1 gramo de biomasa y un tamaño de partícula <0.46 milímetros (Figura 2).

De acuerdo con Tejeda et al. (2015), la adsorción se desarrolla en el interior de partículas, principalmente dentro de los poros de la biomasa y es directamente proporcional al volumen del adsorbente, en este caso al existir una mayor cantidad de biomasa aumenta el contacto del adsorbato (hierro) con el adsorbente (lechuga de agua), y de esta manera una mayor cantidad de metal adherido a la biomasa. Se puede observar que los mayores porcentajes de remoción resultaron al emplear una mayor cantidad de biomasa (1 gramo).

De los tres tratamientos donde se utilizó una solución acuosa con 10 ppm de hierro, el que obtuvo un mayor

According to Arciniega (2023) when evaluating the copper removal percentages using an orange biomass (*C. sinensis*), the best results were obtained using the lowest concentrations (50 ppm) of the metal in aqueous solution, for this research the best results were obtained with iron concentrations of 10 ppm and 50 ppm, therefore, the treatments were more effective at low concentrations of heavy metals.

Although agitation was not a variable to be evaluated, it does influence the adsorption processes, since adequate agitation increases the possibility of contact of the absorbate (iron) with the adsorbent (water cabbage biomass) and in this way, mass transfer improves, insufficient agitation can limit contact between the polluting particles and the active sides of the adsorbent (Kuśmierk & Świątkowski, 2015).

Conclusions

According to the obtained results, dead biomass of water cabbage is a viable option for treating water containing iron, since the plant is found abundantly in water bodies such as rivers and canals, and its preparation involves a low cost to obtain a dead biomass to remove heavy metals found in water.

It is important to use biomass for water treatment to avoid excessive use of chemicals that affect ecosystems and human health, this also has a second benefit, as removing it from water bodies reduces the negative effects on water conveyance systems to agricultural land and drinking water treatment units, It also prevents the oxygenation of water bodies by reducing contact between air with water and light penetration, thus damaging the photosynthesis process.

Although significant removal percentages ranging from 80 to 88% were obtained, this gives rise to further research to determine whether the smaller the particle, the greater the adsorption, using concentrations greater than 50 mg·L⁻¹ and observing whether the removal percentages increase or decrease.

Recommendation

Other variables can also be studied such as the protonation of the iron solution, stirring times, the influence of temperature, among other variables.

porcentaje de remoción (87 %) fue donde se empleó un tamaño de partícula <0.46 milímetros y 0.1 gramos de biomasa (Figura 3).

Existe un porcentaje de remoción de metales pesados más alto en bioadsorbente donde hay una mayor superficie de contacto del metal pesado con el bioadsorbente (Sánchez et al., 2020). Por lo tanto, con un tamaño de partículas pequeño existe un mejor contacto entre el hierro y el bioadsorbente aumentando la posibilidad de que quede adherido el hierro a la biomasa de *P. stratiote*.

Para los tres tratamientos donde se empleó 1 ppm de hierro, el mayor porcentaje de remoción (71.42 %) se dio para la biomasa donde se utilizó un tamaño de partícula >0.46 milímetros con 0.1 gramos de la biomasa (Figura 4).

De manera general se puede decir que la biomasa muerta de la hoja de lechuga de agua con el tamaño de partícula <0.46 milímetros, resultó tener un mayor porcentaje de remoción en comparación con la partícula mayor a 0.46 milímetros (Figura 5).

El tratamiento que mostró el mayor porcentaje de remoción (87.1 %) fue con la biomasa muerta de la hoja empleando un tamaño de partícula de <0.46 milímetros.

Cuanto mayor sea la concentración del contaminante, más partículas de contaminante estarán disponibles para adherirse a la superficie del adsorbente. Esto se puede observar en la diferencia de los porcentajes de remoción para soluciones que solo tenían 1 ppm de hierro y los que contenían 10 o 50 ppm de hierro. Al existir una mayor concentración de hierro en el agua habrá más moléculas disponibles para colisionar con la superficie del adsorbente y éstas queden adheridas lo que resulta en una tasa de adsorción más alta.

De acuerdo con Arciniega (2023) al evaluar los porcentajes de remoción de cobre utilizando una biomasa de naranja (*C. sinensis*), los mejores resultados se dieron utilizando las concentraciones más bajas (50 ppm) del metal en solución acuosa, para esta investigación los mejores resultados se obtuvieron concentraciones de hierro de 10 ppm y 50 ppm, por lo tanto, los tratamientos fueron más efectivos a concentraciones de bajas de metales pesados.

Aunque la agitación no fue una variable a evaluar, si influye en los procesos de adsorción, ya que una agitación adecuada aumenta la posibilidad de contacto del absorbato (hierro) con el adsorbente (biomasa de lechuga de agua) y de esta manera, mejora la trans-

End of English version

References / Referencias

- Acosta Arguello, H., Barraza Yance, A., Andrés, C., & Arrieta, A., Ricardo, A. (2017). Adsorción de cromo (VI) utilizando cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) como biosorbente: Estudio cinético. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(1), 58-76. <https://doi.org/10.14482/inde.35.1.8943>
- Akinbile, C., & Yusoff, M., (2012). Assessing water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and lettuce (*Pistia stratiotes*) effectiveness in aquaculture wastewater treatment, doi: 10.1080/15226514.2011.587482, *Int. J. Phytoremediation*, 14(3), 201-211.
- Albis, A., Martínez, J., Severiche, M., & García, J. (2016). Remoción de plomo de soluciones acuosas usando cáscara de yuca modificada con ácido cítrico. *Avances de Investigación en Ingeniería*, 13(1). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.254>
- Arciniega Galaviz, M. A. (2023). Remoción de cobre en agua sintética utilizando pectina de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*). *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 3(1), 45-54. <https://doi.org/10.5154/r.rchsagt.2023.03.04>
- Baños-Castro, G. L., Martínez-de-Navas, E. N., & Landaverde-Sánchez, J. V. (2022). Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales restaurante Tekunal en el lago de Coatepeque, Santa Ana. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, 10(1), 61-72.
- Cardona Gutiérrez, A. F., Cabañas Vargas, D. D., & Zepeda Pedreguera, A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería*, 17(1), 1-9.
- Cárdenas, E., Allende, Z., Ferreira, M., Velázquez, A., & Vogt, Ch. (2023). Estudio de la capacidad depuradora de *Pistia stratiotes* L., en el tratamiento de aguas residuales generados en el Laboratorio de Efluentes de FACEN-UNA. *Reportes científicos de la FACEN*, 14(1), 70-77. Epub 00 de junio de 2023. <https://doi.org/10.18004/rfacen.2023.14.1.70>
- Carolin, C. F., Kumar, P. S., Saravanan, A., Joshiba, G. J., & Naushad, M. (2017). "Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 5, no. 3, pp. 2782-2799.
- Cascaret-Carmenaty, D., Rodríguez-Matos, A., Ricardo-Lobaina, J., Quesada-González, C. A., Omaid, & Bahín-Deroncele, L. (2020). Utilización de bagazo de caña de azúcar natural y tratado ecucquímicamente, como material adsorbente para Cu 2+. *Revista Cubana de Química*, 32(2), 331-344. Epub 21 de septiembre de 2020. Recuperado en 01 de agosto de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212020000200331&lng=es&tng=es.
- Castro-Torres, Y. (2015). Determinación de metales pesados en agua superficial de la mina de Dolores municipio de Madera, Chihuahua. [Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7895/YESMIN%20HORTENSIA%20CASTRO%20TORRES.pdf?sequence=1>
- Duany-Timosthe, S., Arias-Lafargue, T., Bessy-Horruitiner, T., & Rodríguez-Heredia, D. (2022). Bioadsorbentes no convencionales empleados en la remoción de metales

ferencia de masa, una agitación insuficiente puede limitar el contacto entre las partículas contaminantes y los sitios activos del adsorbente (Kuśmierek & Świątkowski, 2015).

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, la biomasa muerta de lechuga de agua es una opción viable para el tratamiento de aguas con presencia de hierro, ya que la planta se encuentra abundantemente en cuerpos de agua como ríos y canales, e implica un costo bajo en su preparación para obtener una biomasa muerta para eliminar metales pesados presentes en el agua.

Es importante el aprovechamiento de biomasa para el tratamiento de agua para no hacer un uso excesivo de productos químicos que afectan a los ecosistemas y salud de las personas, además de presentar un segundo beneficio ya que al retirarla de los cuerpos de agua se reducen los efectos negativos que afecta los sistemas de conducción del agua a tierras agrícolas y plantas de tratamientos de agua potable, además de evitar la oxigenación de cuerpos de agua al reducir el contacto del aire con el agua y la penetración de la luz dañando así el proceso de la fotosíntesis.

Aunque se obtuvieron importantes porcentajes de remoción que oscilaron entre el 80 y 88 %, esto da pie a seguir con la investigación para definir si entre más pequeña sea la partícula mayor será la adsorción, usar concentraciones mayores a 50 mg·L⁻¹ y observar si los porcentajes de remoción aumenta o disminuye.

Recomendación

También se pueden estudiar otras variables como la protonación de la solución de hierro, los tiempos de agitación, la influencia de la temperatura, entre otras variables.

Fin de la versión en español

pesados. *Revisión. Tecnología Química*, 42(1), 94-113. Epub 30 de abril de 2022. Recuperado en 01 de agosto de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852022000100094&lng=es&tng=es.

Facsa (2017). Metales Pesados. Facsa – Ciclo Integral del Agua. España. Recuperado de <https://www.facsa.com/metales-pesados/>.

FAO (1997). Los fertilizantes, en cuanto contaminantes del agua. *Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos*. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55). Recuperado de: <https://www.fao.org/4/w2598s/w2598s00.htm#Contents>.

- Fontúrbel Rada, F. (2005). Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del Lago Titikaka (Bolivia). *Ecología Aplicada*, 4(1-2), 135-141. Recuperado en 01 de agosto de 2024, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162005000100018&lng=es&tlng=es.
- Farooq, J. A., Kozinski, M. A., Khan, & M. Athar, (2010). "Biosorption of heavy metal ions using wheat based biosorbents -a review of the recent literature", *Bioresour. Technol.*, vol. 101, no. 14, pp. 5043-53. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852410003019>
- Granados Sánchez, D., López Ríos, G. F., & Hernández García, M. Á. (2010). La lluvia ácida y los ecosistemas forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(2), 187-206. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.04.022>
- He J., & Chen J. P. (2014). Bioresource Technology A comprehensive review on biosorption of heavy metals by algal biomass: Materials, performances, chemistry, and modeling simulation tools. *Bioresource Technology* 160, 67– 78. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.01.068
- Kuśmierk, K., & Świątkowski, A. (2015). The influence of different agitation techniques on the adsorption kinetics of 4-chlorophenol on granular activated carbon. *Reac Kinet Mech Cat* 116, 261–271 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11144-015-0889-1>
- Mejía Sandoval, G., (2006). Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 1(1), 77-99.
- Mancilla-Villa, Ó. R., Ortega-Escobar, H. M., Ramírez-Ayala, C., Uscanga-Mortera, E., Ramos-Bello, R., & Reyes-Ortigoza, A. L. (2012). Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(1), 39-48. Recuperado en 01 de agosto de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000100004&lng=es&tlng=es
- Martelo, J., & Lara Borrero, J. A. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8(15), 221-243. Retrieved September 13, 2024, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-91652012000100011&lng=en&tlng=es.
- Mendoza, Yoma I., I. Pérez, J., & Galindo, Andrés A. (2018). Evaluation of the Contribution of the Aquatic Plants *Pistia stratiotes* and *Eichhornia crassipes* in the Municipal Wastewater Treatment. *Información tecnológica*, 29(2), 205-214. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000200205>
- Meza Pérez, M., Marín, J. C., Behling Quintero, E., Colina Andrade, G., Rincón L., N., & Polo, C. A. (2013). Bioabsorción de Pb (II) Y Cr (III) usando la planta acuática *Pistia stratioides*. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 28(3), 19-27. Recuperado en 01 de agosto de 2024, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652013000300003&lng=es&tlng=es.
- Monreal-Saavedra, R., & Ramírez-Rábago, P. (2015). Mi México ES MINERO. Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México A.C. México. Recuperado de: https://www.geomin.com.mx/publicaciones/pub3_MEXICO_%20MINERO%203%20edicion.pdf.
- Moreira, A. S., Duarte, Márcia M. L., Nandenha, J., & Gorete R. M. (2008). Estudio del Mecanismo de Remoción de Hierro y Cobre presentes en Aceites Lubricantes Usados Mediante Bioadsorción. *Información tecnológica*, 19(1), 57-68. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642008000100008>
- Odjegba, V. I., & Fasidi, I. O. (2004). Accumulation of trace elements by *Pistia stratiotes*: Implications for phytoremediation. *Ecotoxicology*. 13: 637-646. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10646-003-4424-1>
- Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., & Gallo, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18. Epub March 20, 2021. <https://doi.org/10.31908/19098367.0001>
- Pérez Antolinez, L. L., Paz Astudillo, I. C., Sandoval Aldana, A. P., & Peñaloza Atuesta, G. C. (2020). Uso de cáscara de cacao (*Theobroma cacao*) para la remoción de cromo en solución acuosa. *Revista EIA*, 17(34), 1–13. <https://doi.org/10.24050/reia.v17i34.1393>
- Pinzón-Bedoya, M. L., & Cardona Tamayo, A. M. (2008). "Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioadsorbente". *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 6 (1), 1-23.
- Rodríguez-Lara, J. W., Cervantes-Ortiz, F., Arámbula-Villa, G., Mariscal-Amaro, L. A., Aguirre-Mancilla, C. L., & Andrio-Enríquez, E. (2021). Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*): una revisión. *Agronomía Mesoamericana*, 33 (1), 44201. <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.44201>
- Samaniego León, J. E., Arzamendia, A. R., & Ayala, M. J. (2016). Remoción de Hierro y Plomo en aguas Residuales por Bioadsorción de la Cáscara de Naranja Agria. *Revista Sobre Estudios e Investigaciones del saber académico*, (10), 69-75. <https://doi.org/10.70833/rseisa10item164>
- Sánchez-Silva, J. M., González-Estrada, R. R., Blancas-Benitez, F. J., & Fonseca-Cantabrana, Á. (2020). Utilización de subproductos agroindustriales para la bioadsorción de metales pesados. *TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-biológicas*, 23, e20200261. Epub 05 de marzo de 2021. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.261>
- Sánchez-Galván, G., Mercado, F. J., & Olguín, E. J. Leaves and Roots of *Pistia stratiotes* as Sorbent Materials for the Removal of Crude Oil from Saline Solutions. *Water Air Soil Pollut* 224, 1421 (2013). <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1421-0>
- Secretaría de Economía (2013). Perfil de Mercado del Hierro-Acero. Dirección General de Desarrollo Minero. México. Recuperado de: https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_hierro_acero_1013.pdf
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á., & Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*, 18(34), 109-123. Retrieved August 01, 2024, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012377992015000100010&lng=en&tlng=es.
- Telwesa (2023). Importancia de Agua Regenerada. Congreso ecostp2023.España. Recuperado de <https://telwesa.com/congreso-ecostp2023/>
- Vallejo Aguilar, M. de la L., Marín Castro, A., Ramos Cassellis, M. A., Silva Gómez, M. E., Ibarra S. E., Cantún, D., & Tamariz Flores, J. V. (2021). Biosorción y tolerancia de Pb, Cr y Cd por la biomasa de *Pleurotus*

- ostreatus (Jacq. Ex Fr.) P. Kumm. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 12(2), 275-289. Epub 25 de abril de 2022. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i2.2687>
- Vargas, M. Cerro, S. Reyna, E. R. Bandala, & J. L. Sanchez, "Biosorption of heavy metals in polluted water, using different waste fruit cortex," Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C, vol. 37-39, pp. 26-29.
- Vargas-Snabria, M., & Brenes-Pino, F. (2011). Hemocromatosis como causa de cirrosis en Costa Rica: A propósito de un caso. Medicina Legal de Costa Rica, vol. 28 (2). <https://www.scielo.sa.cr/pdf/mlcr/v28n2/art9%20v28n2.pdf>.



EN

Effect of lamb gender on productive efficiency of lactating multiparous Pelibuey ewes

ES

Influencia del sexo del cordero sobre la eficiencia productiva de ovejas Pelibuey multíparas en lactación

Ivonne Pérez Ramírez¹; Erika Belem Castillo-Linares²; Jorge Oliva-Hernández^{2*}¹Universidad Popular de la Chontalpa, Carretera Cárdenas- Huimanguillo km 2.5 R/A Paso y Playa, Cárdenas, Tabasco. México.²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Huimanguillo, km 1 carretera Huimanguillo-Cárdenas, Huimanguillo, Tabasco. C. P. 86400. México.***Corresponding author:**

oliva.jorge@inifap.gob.mx.

ORCID: 0000-0002-6907-6404

Received: June 20, 2025.

Accepted: September 9, 2025

Published online:

November 11, 2025

Abstract

Multiparous ewes have the largest representation in a flock and are more productive than primiparous, hence their importance. In addition, under grazing conditions with marginal food supplementation, ewes have one lamb at delivering more frequently, and the proportion of male and female lambs at birth is similar, therefore, the objective of the study was to determine whether the gender of the lamb contributes to explain the variations in productive efficiency (PE) of multiparous lactating Pelibuey ewes. The production records of ten Pelibuey ewes and their litters were used. The response variables in ewes were: birth weight and weight at end of lactation (WEL), total weight gain (TWG), daily weight gain (DWG) during lactation and PE. In lambs were weight at birth and weaning, and DWG pre-weaning. The gender of the lamb did not affect the WEL, TWG, DWG and PE of the ewe ($P > 0.05$). Male and female lambs had a similar DWG during lactation ($P > 0.05$). In conclusion, the gender of the lamb did not affect the PE of multiparous ewes, nor the pre-weaning growth efficiency of lambs.

Keywords: Pre-weaning growth, sheep hair, body weight, humid tropic.**Resumen**

Las ovejas multíparas tienen la mayor representación en un rebaño y son más productivas con respecto a las primíparas, de ahí su importancia. Además, en condiciones de pastoreo con complementación alimenticia marginal, las ovejas tienen un cordero al parto con mayor frecuencia, y la proporción de corderos machos y hembras al nacimiento es similar, por lo cual, el objetivo del estudio fue determinar si el sexo del cordero contribuye a explicar las variaciones en la eficiencia productiva (EP) de las ovejas Pelibuey multíparas en lactación. Se utilizaron los registros productivos de diez ovejas Pelibuey y sus camadas. Las variables respuesta en las ovejas fueron: peso al parto y peso al finalizar la lactancia (PFL), ganancia de peso total (GPT), ganancia diaria de peso (GDP) durante la lactancia y EP. En los corderos fueron: peso al nacimiento y al destete, y GDP pre-destete. El sexo del cordero no afectó el PFL, la GPT, la GDP y la EP de las ovejas ($P > 0.05$). Los corderos machos y hembras tuvieron una GDP similar durante la lactancia ($P > 0.05$). En conclusión, el sexo del cordero no afectó la EP de las ovejas multíparas, ni la eficiencia de crecimiento pre-destete de los corderos.

Palabras clave: Crecimiento pre-destete, ovino de pelo, peso vivo, trópico húmedo.

Please cite this article as follows (APA 7): Pérez Ramírez, I., Castillo-Linares, E. B., & Oliva-Hernández, J. (2025). Effect of lamb gender on productive efficiency of lactating multiparous Pelibuey ewes. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 5, e202511. doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2025.05.11>

Introduction

In a sheep flock, the breeding group of ewes is made up of replacement females known as yearling ewes (pubertal and non-pubertal), and those in production called primiparous (females with one lambing) and multiparous (females with more than one lambing). According to García-Chávez et al. (2020), multiparous ewes are those with the greatest representation in the flock structure and are more productive than primiparous ewes.

On the other hand, Pelibuey ewes are considered prolific because of having an average of more than one lamb per lambing. However, the number of lambs per lambing is a characteristic with low repeatability in subsequent lambing, meaning that an ewe that had one lamb in its first lambing may have two or three lambs in its second, and vice versa (García-Chávez et al., 2020). In addition, the number of lambs born per lambing is mainly affected by environmental factors, so a modification of the environment can increase or reduce the number of lambs at birth (Delgado et al., 2012).

However, the number of lambs at birth has a significant influence on the productive efficiency of lactating ewes, where litters made up of two or three lambs have higher body weight (BW) at birth and weaning compared to litters of a single lamb (Chay-Canul et al., 2019), so the number of lambs that ewe nurses is a factor that must be considered in studies aimed at identifying the causes of variation in the productive efficiency of ewes.

Other factors which can influence the productive efficiency of ewes are the ewe's weight and the gender of the lamb. Regarding ewe's body weight, some studies establish a relationship between the litter weight at weaning and the body weight of the ewe at lambing (Hinojosa-Cuéllar et al., 2019; Senes et al., 2024). While others relate it to the ewe's weight at the end of lactation (García-Osorio et al., 2016a). In Pelibuey sheep, lambs from ewes with above-average body weights at lambing are heavier at birth and weaning than lambs from ewes with below-average body weights (Hinojosa-Cuéllar et al., 2019). Meanwhile, in Santa Inés ewes, it is reported that lambs achieve 432.1 g at weaning per each kilogram of the ewe's weight at lambing, which emphasizes the importance of the ewe's weight at lambing as a factor, which determines productivity (Senes et al., 2024).

Ewe's productive efficiency has also been determined with the weight of the litter at weaning and the weight of the ewe at the end of lactation, in these studies differences in productive efficiency have been identified,

Introducción

En un rebaño ovino, el grupo de ovejas reproductoras se encuentra conformado por las hembras de reemplazo conocidas como primíparas (púberes y no púberes), y por las que se encuentran en producción denominadas primíparas (hembras con un parto) y múltiparas (hembras con más de un parto). De acuerdo con García-Chávez et al. (2020), las ovejas múltiparas son las que tienen mayor representación en la estructura del rebaño y son más productivas con respecto a las primíparas.

Por otra parte, las ovejas Pelibuey son consideradas prolíficas por tener en promedio más de un cordero al nacimiento. Sin embargo, el número de corderos por parto es una característica con baja repetibilidad en los partos subsecuentes, lo cual significa que una oveja que tuvo en su primer parto un cordero puede llegar a tener dos o tres corderos en su segundo parto y viceversa (García-Chávez et al., 2020). Además, el número de corderos nacidos por parto es afectado principalmente por factores ambientales, por lo que una modificación del ambiente puede aumentar o reducir el número de corderos al nacimiento (Delgado et al., 2012).

No obstante, el número de corderos al nacimiento tiene una influencia marcada sobre la eficiencia productiva de las ovejas en lactación, en donde las camadas conformadas por dos o tres corderos tienen mayor peso vivo (PV) al nacimiento y al destete con relación a las camadas de un solo cordero (Chay-Canul et al., 2019), por lo que el número de corderos que amamanta una oveja es un factor que debe considerarse en los estudios orientados a identificar las causas de la variación en la eficiencia productiva de las ovejas.

Otros factores que pueden influir en la eficiencia productiva de las ovejas son el peso de la oveja y el sexo del cordero. En lo que respecta al peso vivo de la oveja, algunos estudios establecen la relación entre el peso de la camada al destete y el peso al parto de la oveja (Hinojosa-Cuéllar et al., 2019; Senes et al., 2024). Mientras que otros lo relacionan con el peso de la oveja al finalizar la lactancia (García-Osorio et al., 2016a). En ovinos Pelibuey, los corderos provenientes de ovejas con un peso al parto por encima del promedio son más pesados al nacimiento y al destete, con respecto a los corderos de ovejas con un peso al parto por debajo del promedio (Hinojosa-Cuéllar et al., 2019). Entre tanto, en ovejas Santa Inés, se reporta que los corderos logran 432.1 g al destete por cada kilo de peso de la oveja al parto, lo que enfatiza la importancia del peso de la oveja al parto como un factor que determina la productividad (Senes et al., 2024).

attributed to the type of lambing of the ewe, but the possible influence of the gender of the lamb has not been studied (García-Osorio et al., 2017; Chay-Canul et al., 2019).

Regarding the gender of the lamb, in most studies carried out on hair sheep, males show greater pre-weaning growth efficiency compared to females (García-Chávez et al., 2020). However, in ewes with similar type of lambing (primiparous or multiparous), lamb BW during lactation may be similar among males and females (García-Osorio et al., 2016b). Although the influence that lamb gender may have on the change in ewe BW during lactation is unknown. The objective of this study was to determine the influence of lamb gender on the productive efficiency of lactating multiparous Pelibuey ewes.

Methodological Approach

Study area

The production data came from a commercial sheep production unit, located at km 25 in Cárdenas-Villahermosa highway (17° 98' N; 93° 14' W), Tabasco, Mexico; a warm humid climate location with abundant summer rainfall, an average annual temperature of 26.7 °C and an annual rainfall of 1 952 mm (Díaz et al., 2006).

Production records

The study was retrospective and observational. A total of 160 production records were consulted for a group of ewes that lactated during the same climatic season and year, and the complete records of ten multiparous Pelibuey ewes that had a single birth were selected, these births occurred within a narrow time frame (17 days) during the transition from drought to rainy season (April to May 2021). A complete record for the ewes was considered to be the one which provided the following information: date and body weight (BW) at lambing and at the end of lactation. For the lambs, the date and BW at birth and at weaning were recorded.

Feeding ewes and lambs

Ewes were fed on a grazing basis, on pastures with *Cynodon plectostachyus* K. (Schum.) Pilger and *C. dactylon* L., grasses, during the first four months of gestation. The month prior to delivery, ewes received 500 g·ewe⁻¹·d⁻¹ of a commercial feed [15% crude protein (CP)]. During lactation, they grazed between 8:00 and 10:00 and between 15:00 and 18:00 hrs. When ewes were not grazing, they were kept in a pen to nurse their lambs and received 500 g·ewe⁻¹·d⁻¹ of the same supplement used in the final stage of gestation, mineral salt, and water

La eficiencia productiva de la oveja también se ha determinado con el peso de la camada al destete y el peso de la oveja al finalizar la lactancia, en estos estudios se han identificado diferencias en la eficiencia productiva, atribuidas al tipo de parto de las ovejas, pero no se ha estudiado la posible influencia del sexo del cordero (García-Osorio et al., 2017; Chay-Canul et al., 2019).

En cuanto al sexo del cordero, en la mayor parte de los estudios realizados en ovejas de pelo, los machos presentan una mayor eficiencia de crecimiento pre-destete con respecto a las hembras (García-Chávez et al., 2020). Sin embargo, en ovejas con similar tipo de parto (primíparas o multíparas), el PV de los corderos durante la lactancia puede ser semejante entre machos y hembras (García-Osorio et al., 2016b). Aunque se desconoce la influencia que puede tener el sexo del cordero sobre el cambio de PV de la oveja durante la lactancia. El objetivo de este estudio fue determinar la influencia del sexo del cordero sobre la eficiencia productiva de ovejas Pelibuey multíparas en lactación.

Enfoque Metodológico

Área de estudio

La información productiva provino de una unidad de producción ovina comercial, ubicada en el km 25 de la carretera Cárdenas-Villahermosa (17° 98' N; 93° 14' O), Tabasco, México; sitio con clima cálido húmedo, con abundantes lluvias en verano, temperatura media anual de 26.7 °C y precipitación pluvial anual de 1 952 mm (Díaz et al., 2006).

Registros productivos

El estudio fue de tipo retrospectivo observacional. Se consultaron 160 registros productivos de un grupo de ovejas que desarrollaron su lactancia durante una misma época climática y año, y se seleccionaron los registros completos de diez ovejas Pelibuey multíparas que tuvieron un tipo de parto sencillo, el cual ocurrió en un estrecho período de tiempo (17 días) durante la época de transición de la sequía a las lluvias (abril a mayo de 2021). En las ovejas se consideró un registro completo cuando éste proporcionaba la siguiente información: fecha y peso vivo (PV) al parto y al finalizar la lactancia. Mientras que, en los corderos, la fecha y PV al nacimiento y al destete.

Alimentación de ovejas y corderos

Las ovejas se alimentaron con base en el pastoreo, en praderas con pastos *Cynodon plectostachyus* K. (Schum.) Pilger y *C. dactylon* L., durante los primeros cuatro meses de la gestación. El mes previo al parto

ad libitum. Lambs had access to a starter feed with 20% CP, water, and mineral salt *ad libitum* throughout lactation, during the times when the ewes were grazing. Lambs had access to a starter feed containing 20% CP, water, and mineral salt *ad libitum* throughout lactation, during times when the ewes were grazing.

Ewes and lambs management

Ewes were weighed at lambing and at the end of lactation (kg), which lasted 55 ± 5 days (mean $\pm$ standard deviation). The BW at the end of lactation was adjusted to 56 days postpartum. Information on dates and weights at lambing and at the end of lactation was used to calculate total weight gain during lactation (kg), daily weight gain (DWG) during lactation (g), and productive efficiency (PE), which was calculated according to formula (1) proposed by Godfrey et al. (1997).

$$PE = \frac{\text{Weight of lamb at weaning in kg (adjusted to 56 days of age)}}{\text{Weight of ewe at end of lactation in kg (adjusted to 56 days postpartum)}}$$

Lambs were weighed at birth and at weaning (55 ± 5 days of age). Lambs were evaluated for BW (kg) at birth and at weaning (adjusted to 56 days of age), total weight gain (kg), and pre-weaning DWG adjusted to 56 days of age (g).

Response variables

In ewes: a) BW at lambing (kg); b) BW at the end of lactation (kg) (adjusted to 56 days postpartum); c) total weight gain (kg); d) daily weight gain (DWG); and e) productive efficiency.

In lambs: a) BW at birth (kg); b) BW at weaning (kg) (adjusted to 56 days of age), total weight gain (kg), and DWG pre-weaning adjusted to 56 days of age (g).

Experimental design and statistical analysis

A completely randomized design was used, where the main factor was the gender of the lamb (male, $n=6$; female, $n=4$). Data were analyzed using the nonparametric Wilcoxon rank-sum test for unpaired data, which is recommended when the number of observations per treatment is small or when the data do not display a normal distribution. The T-Test was used to determine the confidence interval (95%) per each pair of means, and to define the probability, which the average value of a parameter (e.g., DWG pre-weaning of the lamb) can be found within that range (Milton, 2007). For response variables measured in ewes, e.g., BW at lambing, the experimental unit was the ewe; and for response variables assessed in lambs, such as BW at birth, the

las ovejas recibieron $500 \text{ g-oveja}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ de un alimento comercial [15 % de proteína cruda (PC)]. Durante la lactancia, pastoreaban entre las 8:00 y las 10:00 y entre las 15:00 y las 18:00 h. En el horario en el cual las ovejas no estuvieron en pastoreo, se mantuvieron en un corral para amamantar a sus corderos y recibieron $500 \text{ g-oveja}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ del mismo suplemento utilizado en la parte final de la gestación, sal mineral y agua *ad libitum*. Los corderos tuvieron acceso a un alimento iniciador con 20 % de PC, agua y sal mineral *ad libitum* durante toda la lactancia, en los horarios en los cuales las ovejas se encontraban en pastoreo.

Manejo de ovejas y corderos

Las ovejas se pesaron al parto y al finalizar la lactancia (kg), la cual tuvo una duración de 55 ± 5 días (media $\pm$ desviación estándar). El PV al finalizar la lactancia se ajustó a 56 días posparto. La información de fechas y pesos al parto y al finalizar la lactancia permitió calcular la ganancia de peso total durante la lactancia (kg), ganancia diaria de peso (GDP) durante la lactancia (g), y la eficiencia productiva (EP), la cual se calculó de acuerdo con la fórmula (1) propuesta por Godfrey et al. (1997).

$$EP = \frac{\text{Peso del cordero al destete en kg (ajustado a 56 días de edad)}}{\text{Peso de la oveja al finalizar la lactancia en kg (ajustado a 56 días posparto)}}$$

Los corderos se pesaron al nacimiento y al destete (55 ± 5 días de edad). En los corderos se evaluó el PV (kg) al nacimiento y al destete (ajustado a 56 días de edad), ganancia de peso total (kg), y GDP pre-destete ajustada a 56 días de edad (g).

Variables respuesta

En las ovejas: a) PV al parto (kg); b) PV al finalizar la lactancia (kg) (ajustado a 56 días posparto); c) ganancia de peso total (kg); d) ganancia diaria de peso (GDP); y e) eficiencia productiva.

En los corderos: a) PV al nacimiento (kg); b) PV al destete (kg) (ajustado a 56 días de edad), ganancia de peso total (kg), y GDP pre-destete ajustado a 56 días de edad (g).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar, donde el factor principal fue el sexo del cordero (macho, $n=6$; hembra, $n=4$). Los datos se analizaron con el test no paramétrico de la suma de rangos de Wilcoxon para datos no pareados, el cual se recomienda cuando el número de observaciones por tratamiento es pequeño o cuando los datos no presentan una distribución normal. Se utilizó el procedimiento T-Test para deter-

experimental unit was the lamb. All analyses were performed using SAS v 9.3 statistical package (SAS Institute Inc., 2012).

Results and Discussion

Ewes had a marginal reduction in weight during lactation, suggesting that their nutrient requirements were not fully met (Table 1). In this regard, Chávez et al. (1995) indicate that in lactating Pelibuey ewe, a consumption of 3.8 megacalories of metabolizable energy (Mcal of ME) $\cdot$ ewe $^{-1} \cdot$ d $^{-1}$ allowed them to maintain their BW, and a consumption of 4.0 Mcal of ME-ewe $^{-1} \cdot$ d $^{-1}$ resulted in a DWG of 51 g. In support of the above, Chay-Canul et al. (2019) indicate that in multiparous Pelibuey and Kathadin ewes nursing a single lamb, a consumption equal to or greater than 4.9 Mcal of ME-ewe $^{-1} \cdot$ d $^{-1}$ will allow weight gain during lactation. However, in Blackbelly x Pelibuey ewes fed on pasture and with a lower level of feed supplementation than that indicated in the present study, weight loss during lactation was recorded, ranging from 2.3 to 11.5% of BW at lambing (Guzmán et al., 2022). In the ewes in this study, the slight weight reduction detected can be attributed to the low CP content, structural carbohydrates and dry material degradability of the pastures on which the ewes were fed. In this regard, Barrón-Arredondo et al. (2020) indicate that *C. plectostachyus* contains 10.3% CP and that the *in vitro* digestibility of dry material is 68.2%. Lamas (2006) reports a *C. dactylon* content of 6.2% of CP and a neutral detergent fiber content of 73%. On the other hand, the supplement offered to the ewes provided 75 g of CP-d $^{-1}$, which may have contributed to the ewes' weight loss not being greater. Other factors not studied, but which contribute to changes in ewes weight, are the availability and voluntary consumption of pasture grass, as well as climatic conditions during grazing (Martínez et al., 2024).

Regarding ewes' production efficiency, this depends on the ewe's ability to transform the feed it consumes into milk, and on the ability of its litter to transform its feed (milk and food supplements) into weight gain. In this context, the studied ewes had a higher productive efficiency compared to that indicated in ewes with a single birth type, from the Blackbelly x Pelibuey, Pelibuey and Katahdin breed groups (García-Osorio et al., 2017; Chay-Canul et al., 2019). The differences among studies in the type of response indicated may be related to the nutritional management of the ewe and its litter, the season of year, and the genotype of the ewes and their litter.

In lactating hair ewes fed on pasture without any type of supplementation, production efficiency, measured through the lamb BW/ewe BW at the end of lactation,

minar el intervalo de confianza (95 %) para cada par de medias, y definir la probabilidad con la que el valor medio de un parámetro (por ejemplo, GDP pre-destete del cordero) puede encontrarse dentro de ese intervalo (Milton, 2007). Para las variables respuesta medidas en las ovejas, por ejemplo, PV al parto, la unidad experimental fue la oveja; y para las variables respuesta evaluadas en corderos, como el PV al nacimiento, la unidad experimental fue el cordero. Todos los análisis se efectuaron con el paquete estadístico SAS v 9.3 (SAS Institute Inc., 2012)

Resultados y Discusión

Las ovejas tuvieron una reducción marginal de peso durante la lactancia, lo cual sugiere que no se cubrieron por completo sus requerimientos de nutrientes (Cuadro 1). Al respecto, Chávez et al. (1995) indican, en ovejas Pelibuey en lactación, que un consumo de 3.8 megacalorías de energía metabolizable (Mcal de EM)-oveja $^{-1} \cdot$ d $^{-1}$ les permitió mantener su PV, y un consumo de 4.0 Mcal de EM-oveja $^{-1} \cdot$ d $^{-1}$ propició una GDP de 51 g. En apoyo a lo indicado previamente, Chay-Canul et al. (2019), señalan en ovejas Pelibuey y Kathadin multíparas que amamantaban un solo cordero, que un consumo igual o mayor a 4.9 Mcal de EM-oveja $^{-1} \cdot$ d $^{-1}$ permitirá ganancia de peso durante la lactancia. Sin embargo, en ovejas Blackbelly x Pelibuey con alimentación en el pastoreo y un menor nivel de complementación alimenticia al indicado en el presente estudio, se registró pérdida de peso durante la lactancia, del orden del 2.3 al 11.5 % del PV al parto (Guzmán et al., 2022). En las ovejas del presente estudio, la ligera reducción del peso detectada puede atribuirse en parte, al bajo contenido de PC, carbohidratos estructurales y degradabilidad de la materia seca de los pastos con los que se alimentaron las ovejas. En este sentido, Barrón-Arredondo et al. (2020) indican que *C. plectostachyus* contiene un 10.3 % de PC y que la digestibilidad *in vitro* de materia seca es de 68.2 %. Por su parte Lamas (2006), informa en *C. dactylon* un contenido de 6.2 % de PC y 73 % de fibra detergente neutro. Por otra parte, el suplemento ofrecido a las ovejas aportó 75 g de PC-d $^{-1}$, lo que pudo favorecer que la reducción de peso en las ovejas no fuera de mayor magnitud. Otros factores no estudiados, pero con participación en los cambios de peso de las ovejas, son la disponibilidad y el consumo voluntario de pasto en las praderas, así como las condiciones climáticas durante el pastoreo (Martínez et al., 2024).

En cuanto a la eficiencia de producción de las ovejas, esta depende de la capacidad que tiene la oveja para transformar el alimento que consume en leche, y de la capacidad de su camada para transformar sus alimentos (leche y complemento alimenticio) en ganancia de peso. Al respecto, las ovejas en estudio tuvieron una

has not been evaluated. However, in Pelibuey ewe it has been reported that an increase in the energy content of the diet (from 2.45 to 2.74 Mcal of ME·kg DM⁻¹) favors a higher daily EM intake (from 3.3 to 3.7 Mcal of ME), which allows the ewe to gain weight (from 8 to 57 g·d⁻¹) without affecting the pre-weaning DWG of the lambs (Chávez et al., 1995). It is likely that the quantity and quality of the supplement offered to the ewes in this study contributed significantly to achieving the reported production efficiency and justifies the use of feed supplementation as part of the nutritional management of lactating ewes on pasture.

In relation to the previously mentioned, Table 1 shows the median for the variables that determined the pre-weaning productive efficiency of lambs, without considering the influence of the lamb's gender. The values for BW at birth and weaning, as well as pre-weaning DWG, were slightly higher than the values obtained in other studies on Pelibuey lambs from single births, and ewes fed on pasture and a nutritional supplement (Hinojosa-Cuéllar et al., 2012). However, the BW at birth and weaning, and the pre-weaning DWG of the lambs studied, are within the minimum and maximum values reported by Oliva-Hernández & García-Osorio (2016), in Pelibuey lambs with controlled nursing.

The gender of the lamb did not affect ($P > 0.05$) the response variables studied in the ewes (Table 2). The change ewes' weight at the end of lactation was no greater than 5% with respect to their weight at lambing (Table 2), a result that suggests that multiparous hair ewes with a single birth type cover most of their nutritional requirements through grazing and supplementation. However, a production efficiency of 0.43 is a higher value than that indicated in ewes with a single lamb in the Blackbelly x Pelibuey breed group (0.39 PE) which were fed based on grazing plus supplementation with a commercial feed (0.5 kg·oveja·d⁻¹) and that of Pelibuey and Katahdin ewes (0.28 PE) that were fed in a sheep stabling with an whole food diet (15.3 % CP y 2.9 Mcal ME·kg DM⁻¹) (García-Osorio et al., 2017; Chay-Canul et al., 2019).

In hair ewes, different ways of evaluating productive efficiency have been proposed using one or a combination of the following response variables as information: litter weight at weaning, ewe weight at the end of lactation, and lambing interval (García-Osorio et al., 2016a). Hinojosa-Cuéllar et al. (2015) determined the repeatability of the productivity response variable in hair ewes, generated with information on litter productivity (weaning weight) and ewe reproductive information (lambing interval). The reported repeatability values were low (0.12) suggesting that "early selection" of females based on their phenotypic productivity values would not be effective. In contrast, Senes et al. (2024)

mayor eficiencia productiva con relación a lo indicado en ovejas con un tipo de parto sencillo, de los grupos raciales Blackbelly x Pelibuey, Pelibuey y Katahdin (García-Osorio et al., 2017; Chay-Canul et al., 2019). Las diferencias entre estudios en el tipo de respuesta señalada, pueden estar relacionadas con el manejo nutricional de la oveja y su camada, época del año, y genotipo de las ovejas y su camada.

En ovejas de pelo en lactación alimentadas con base en el pastoreo y sin algún tipo de suplementación, no ha sido evaluada la eficiencia de producción, medida a través de la relación PV del cordero/PV de la oveja al finalizar la lactancia. Sin embargo, en la oveja Pelibuey se ha reportado que un incremento en el contenido energético de la dieta (de 2.45 a 2.74 Mcal de EM·kg MS⁻¹) favorece un mayor consumo diario de EM (de 3.3 a 3.7 Mcal de EM), el cual permite que la oveja gane peso (de 8 a 57 g·d⁻¹) sin afectarse la GDP pre-destete de los corderos (Chávez et al., 1995). Es probable que la cantidad y calidad del suplemento ofrecido a las ovejas en estudio, haya contribuido de forma significativa a alcanzar la eficiencia de producción reportada y justifique el uso de la suplementación alimenticia como parte del manejo nutricional de las ovejas en lactación en pastoreo.

Con relación a lo anterior, en el Cuadro 1 se muestran las medianas para las variables que determinaron la eficiencia productiva pre-destete de los corderos, sin considerar la influencia del sexo del cordero. Los valores de PV al nacimiento y al destete, así como la GDP pre-destete, fueron ligeramente superiores a los valores obtenidos en otros estudios en corderos Pelibuey provenientes de un parto sencillo, y ovejas alimentadas a base de pastoreo y una complementación alimenticia (Hinojosa-Cuéllar et al., 2012). No obstante, los PV al nacimiento y al destete, y la GDP pre-destete de los corderos estudiados, se encuentra dentro de los valores mínimo y máximo que reportan Oliva-Hernández & García-Osorio (2016), en corderos Pelibuey con un control del amamantamiento.

El sexo del cordero no afectó ($P > 0.05$) las variables respuesta estudiadas en las ovejas (Cuadro 2). El cambio de peso en las ovejas al finalizar la lactancia no fue mayor al 5 % con respecto a su peso al parto (Cuadro 2), resultado que sugiere que las ovejas de pelo multíparas y con un tipo de parto simple, cubren la mayor parte de sus requerimientos nutricionales mediante el pastoreo y la suplementación. No obstante, una eficiencia de producción de 0.43 es un valor mayor al indicado en ovejas con un tipo de parto sencillo del grupo racial Blackbelly x Pelibuey (0.39 de EP) las cuales se alimentaron con base en el pastoreo más una suplementación con un alimento comercial

Table 1. Productive performance of multiparous Pelibuey ewes with single births.
Cuadro 1. Comportamiento productivo de ovejas Pelibuey multiparas con parto sencillo.

Indicator / Indicador	Number of observations / Número de observaciones	Median / Mediana	Value / Valor	
			Minimum / Mínimo	Maximum / Máximo
Ewe / Oveja				
Body weight at birth (kg) / Peso vivo al parto (kg)	10	32.0	25.0	34.0
Body weight at the end of lactation ¹ / Peso vivo al finalizar la lactancia ¹	10	31.4	26.1	36.1
Weight gain during lactation (kg) / Ganancia de peso durante la lactancia (kg)	10	0.0	-2.1	2.1
Daily weight gain (g) / Ganancia diaria de peso (g)	10	0.0	-38.0	38.0
Productive efficiency ² / Eficiencia productiva ²	10	0.43	0.32	0.52
Lactation duration (days) / Duración de la lactancia (días)	10	55	48	65
Lamb / Cordero				
Body weight at birth (kg) / Peso vivo al nacimiento (kg)	10	2.9	1.9	3.5
Body weight at weaning ³ (kg) / Peso vivo al destete ³ (kg)	10	13.1	9.1	16.2
Daily pre-weaning weight gain ⁴ (g) / Ganancia diaria de peso pre-destete ⁴ (g)	10	177	128	233

¹Body weight of the ewe at the end of lactation, adjusted to 56 days postpartum; ²Productive efficiency of the ewe= Lamb weight adjusted to 56 days of age (kg)/ewe weight adjusted to 56 days postpartum (kg); ³Adjusted body weight of lamb at 56 days of age; ⁴Adjusted daily pre-weaning weight gain at 56 days of age.

¹Peso vivo de la oveja al finalizar la lactancia, ajustado a 56 días posparto; ²Eficiencia productiva de la oveja= Peso del cordero ajustado a 56 días de edad (kg)/peso de la oveja ajustado a 56 días posparto (kg); ³Peso vivo del cordero ajustado a 56 días de edad; ⁴Ganancia diaria de peso pre-destete ajustada a 56 días de edad.

reported in Santa Inés sheep that the weight of the litter at weaning and the weight of the ewe after delivering can be used to construct a reproductive index with the potential to be used in genetic selection.

(0.5 kg-oveja·d⁻¹) y al de ovejas Pelibuey y Katahdin (0.28 de EP) que se alimentaron en estabulación con una dieta integral (15.3 % PC y 2.9 Mcal EM·kg MS⁻¹) (García-Osorio et al., 2017; Chay-Canul et al., 2019).

Regarding the pre-weaning growth of lambs, it was not affected by gender ($P > 0.05$) (Table 2), result which differs from that reported in other studies conducted with Pelibuey ewes, where male lambs have superiority over females in BW at birth and weaning, as well as in pre-weaning DWG (Carrillo et al., 1987). However, there is also evidence in the Pelibuey breed indicating that male lambs were not superior to females in birth and weaning weight, or in DWG (Hinojosa-Cuéllar et al., 2012). The discrepancies among studies can be attributed to the fact that most studies report the influence of lamb gender as the main factor and do not consider possible interactions among the factors of breed group, season,

En ovejas de pelo se han propuesto diferentes formas de evaluar la eficiencia productiva usando como información alguna de las siguientes variables respuesta o una combinación de estas: peso de la camada al destete, peso de la oveja al finalizar la lactancia e intervalo entre partos (García-Osorio et al., 2016a). Hinojosa-Cuéllar et al. (2015) determinaron el índice de constancia de la variable respuesta productividad de las ovejas de pelo, generada con información productiva de la camada (peso al destete) y reproductiva de la oveja (intervalo entre partos de la oveja). Los valores de índice de constancia reportados fueron bajos (0.12) lo que sugiere que la selección “temprana” de hembras por los valores

Table 2. Influence of lamb gender on the productive performance of multiparous Pelibuey ewes with single births.
Cuadro 2. Influencia del sexo del cordero sobre el comportamiento productivo de ovejas Pelibuey multíparas con parto sencillo.

Indicator / Indicador	Gender of lamb / Sexo del cordero	
	Female (n=4) / Hembra (n=4)	Male (n=6) / Macho (n=6)
Ewe / Oveja		
Body weight at birth (kg) / Peso vivo al parto (kg)	32.5 [‡] (25.2 – 37.3)	32.0 (27.0 – 34.7)
Body weight at the end of lactation ¹ / Peso vivo al finalizar la lactancia ¹	31.0 (26.0 – 35.5)	32.0 (27.4 – 35.3)
Weight gain during lactation (kg) / Ganancia de peso durante la lactancia (kg)	-0.483 (-2.6 – 1.6)	0.0 (-0.4 – 1.5)
Daily weight gain (g) / Ganancia diaria de peso (g)	-9 (-47 – 28)	0.0 (-7 – 26)
Productive efficiency of ewe ² / Eficiencia productiva de la oveja ²	0.43 (0.35 – 0.48)	0.43 (0.34 – 0.57)
Lactation duration (days) / Duración de la lactancia (días)	57 (53 – 60)	52.5 (48 – 62)
Lamb / Cordero		
Body weight of the lamb at birth (kg) / Peso vivo del cordero al nacimiento (kg)	2.5 (2.1 – 3.1)	3.0 (2.3 – 3.6)
Body weight of lamb at weaning ³ (kg) / Peso vivo del cordero al destete ³ (kg)	12.3 (11.0 – 14.3)	13.4 (10.8 – 15.9)
Pre-weaning daily weight gain ⁴ (g) / Ganancia diaria de peso predestete ⁴ (g)	175 (159 – 200)	183 (148 – 223)

[‡], median; n = number of observations; 1, Body weight of the ewe at the end of lactation adjusted to 56 days postpartum; 2, Productive efficiency of the ewe =Adjusted lamb weight at 56 days of age (kg)/adjusted ewe weight at 56 days postpartum (kg)⁻¹; 3, Adjusted body weight of lamb at 56 days of age; 4, Adjusted pre-weaning daily weight gain at 56 days of age; P > 0.05. Values in parentheses below the median = confidence interval (95%).

[‡], mediana; n= número de observaciones; 1, Peso vivo de la oveja al finalizar la lactancia ajustado a 56 días posparto; 2, Eficiencia productiva de la oveja= Peso del cordero ajustado a 56 días de edad (kg)/peso de la oveja ajustado a 56 días posparto (kg)⁻¹; 3, Peso vivo del cordero ajustado a 56 días de edad; 4, Ganancia diaria de peso pre-destete ajustada a 56 días de edad; P > 0.05. Valores entre paréntesis colocados en la parte inferior de la mediana = intervalo de confianza (95 %).

type of birth, number of lambing and lamb gender. (Quintanilla-Medina et al., 2018; Ríos-Utrera et al., 2014). Apparently, under similar conditions of mother and lamb genotype, season of the year, lambing number category (multiparous), and type of birth (single), male lambs do not express superiority over females in BW at birth or weaning, as well as in DWG. Another important aspect to consider which may influence the magnitude of pre-weaning DWG and that has not been studied, is the quantity and quality of feed consumed by lambs in their pre-weaning stage. In this sense, it is important to evaluate in future studies the amount of nutrients which lambs consume through pre-weaning feed supplementation and to determine whether the gender of the lamb influences feed consumption.

fenotípicos de su productividad no sería efectiva. En contraste, Senes et al. (2024) reportan en ovejas Santa Inés que el peso de la camada al destete y el peso de la oveja después del parto pueden ser utilizados para construir un índice reproductivo con potencial de ser utilizados en la selección genética.

En cuanto al crecimiento pre-destete de los corderos, no fue afectado por el sexo (P > 0.05) (Cuadro 2), resultado que difiere de lo indicado en otros estudios efectuados con ovejas Pelibuey, en donde los corderos machos tienen superioridad sobre las hembras en el PV al nacimiento y al destete, así como en la GDP pre-destete (Carrillo et al., 1987). Sin embargo, también existen evidencias en la raza Pelibuey que indican que

Conclusions

In ewes, a weight reduction was observed during lactation, which was not attributed to the gender of the lamb. The gender of lamb did not affect the productive efficiency of lactating ewes, nor the growth of lambs.

End of English version

References / Referencias

- Barrón-Arredondo, M., Granados-Zurita, L., Maciel-Torres, S. P., Jiménez-Ortiz, M. M., Quiroz-Valiente, J., & Granados-Rivera, L. D. (2020). Curvas de crecimiento del pasto estrella de África durante las tres épocas del año en trópico húmedo. *Ciencia e Innovación* 3(1): 53-63.
- Carrillo, L., Velázquez, A., & Ornelas, T. (1987). Algunos factores ambientales que afectan el peso al nacer y al destete de corderos Pelibuey. *Técnica Pecuaria en México*, 25(3), 289-295. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/3474>
- Chávez, G., Castellanos, A. F., & Velázquez, P. A. (1995). Producción de las ovejas Pelibuey pre y postparto alimentadas con diversos aportes nutricionales. *Técnica Pecuaria en México*, 33(3), 183-191. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/693>
- Chay-Canul, A. J., García-Herrera, R. A., Magaña-Monforte, J. G., Macías-Cruz, U., & Luna-Palomera, C. (2019). Productividad de ovejas Pelibuey y Katahdin en el trópico húmedo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 159-165. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1872>
- Delgado, J. V., León, J. M., Bermejo, L. A., López-Gallego, F., Camacho, A., & Santolaria, J. (2012). Análisis preliminar de parámetros genéticos para el carácter de prolificidad en la oveja Canaria de Pelo. *Archivos de Zootecnia*, 61(233), 249-252. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0004-05922012000100017
- Díaz, P. G., Ruíz, C. J. A., Medina, G. G., Cano, G. M. A., & Serrano, A. V. (2006). *Estadísticas climáticas básicas del estado de Tabasco (período 1961- 2003)*. Libro técnico 12. Veracruz, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- García-Chávez, C. A., Luna-Palomera, C., Macías-Cruz, U., Segura-Correa, J. C., Ojeda-Robertos, N. F., Peralta-Torres, J. A., & Chay-Canul, A. J. (2020). Lamb growth and ewe productivity in Pelibuey sheep under tropical conditions. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(3), 884-893. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i3.5157>
- García-Osorio, I. del C., Oliva-Hernández, J., Hinojosa-Cuéllar, J. A., & Quiroz-Valiente, J. (2016a). Comparación de métodos para evaluar la productividad de ovejas de pelo. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 67(1), 12-18. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67446178002>
- los corderos machos no fueron superiores a las hembras en el peso al nacimiento y al destete, ni en la GDP (Hinojosa-Cuéllar et al., 2012). Las discrepancias entre estudios pueden atribuirse al hecho de que la mayoría de los estudios reportan la influencia del sexo del cordero como factor principal y no consideran posibles interacciones entre los factores grupo racial, época del año, tipo de nacimiento, número de parto y sexo del cordero (Quintanilla-Medina et al., 2018; Ríos-Utrera et al., 2014). Al parecer, en condiciones similares de genotipo de madre y cordero, época del año, categoría de número de parto (múltiparas) y tipo de nacimiento (sencillo), los corderos machos no expresan superioridad con respecto a las hembras en los PV al nacimiento ni al destete, así como en la GDP. Otro aspecto importante a considerar que puede influir en la magnitud de la GDP pre-destete y que no ha sido estudiado, es la cantidad y calidad de alimento que es consumido por los corderos en su etapa pre-destete. En este sentido, es importante evaluar en futuros estudios la cantidad de nutrientes que los corderos consumen a través de la suplementación alimenticia pre-destete y determinar si el sexo del cordero influye en el consumo de alimento.

Conclusiones

En las ovejas se presentó una reducción de peso durante la lactancia, la cual no fue atribuida al sexo del cordero. El sexo del cordero no afectó la eficiencia productiva de las ovejas en lactación, ni el crecimiento de los corderos.

Fin de la versión en español

- García-Osorio, I. del C., Oliva-Hernández, J., Osorio-Arce, M. M., Torres-Hernández, G., Hinojosa-Cuéllar, J. A., & González-Garduño, R. (2016b). Influence of gender on carcass yield of twin lambs Blackbelly x Pelibuey of 56 days of age. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 68(4), 1077-1084. <http://doi.org/10.1590/1678-4162-8215>
- García-Osorio, I. del C., Oliva-Hernández, J., Osorio-Arce, M. M., Torres-Hernández, G., Hinojosa-Cuéllar, J. A., & González-Garduño, R. (2017). Influencia materna en el crecimiento predestete y características de la canal de corderos de pelo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4 (10), 51-63 <http://doi.org/10.19136/era.a4n10.818>
- Godfrey, R. W., Gray, M. L., & Collins, J. R. (1997). Lamb growth and milk production of hair and wool sheep in a semi-arid tropical environment. *Small Ruminant Research*, 24, 77-83. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(97\)89743-X](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(97)89743-X)
- Guzmán, V., Castillo, E. B., Hinojosa, J. A., & Oliva, J. (2022). Peso vivo de la oveja primala al primer empadre, y productividad en sus

- dos primeros partos. *Nova Scientia*, 14(28), 1-16. <http://doi.org/10.21640/ns.v14i28.2960>
- Hinojosa-Cuéllar, J. A., Oliva-Hernández, J., Torres-Hernández, G., Segura-Correa, J. C., Aranda-Ibañez, E., & González-Camacho, J. M. (2012). Factores que afectan el crecimiento predestete de corderos Pelibuey en el trópico húmedo de México. *Universidad y Ciencia*, 28(2), 163-171. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792012000200006
- Hinojosa-Cuéllar, J. A., Oliva-Hernández, J., Torres-Hernández, G., Segura-Correa, J. C., & González-Garduño, R. (2015). Productividad de ovejas F1 Pelibuey x Blackbelly y sus cruces con Dorper y Katahdin en un sistema de producción del trópico húmedo de Tabasco, México. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 47(2), 167-174. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2015000200007>
- Hinojosa-Cuéllar, J. A., Oliva-Hernández, J., Segura-Correa, J. C., & Torres-Hernández, G. (2019). Importancia del peso de la oveja al parto en el comportamiento predestete de corderos Pelibuey. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(4), 1569-1578. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17267>
- Lamas, R. F. (2006). Sistemas de producción con *Cynodon dactylon* y *Leucaena leucocephala* con borregos Pelibuey pastoreando en el trópico seco salino de Nayarit. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nayarit]. Repositorio institucional de la Universidad Autónoma de Nayarit <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/1599>
- Martínez, J., Serrano, J. O., González, A., Fonseca, N., Lorenzo, J. C. & Herrera, M. (2024). Efecto de la intensidad de radiación solar del sistema de pastoreo en la conducta de ovinos Pelibuey en el periodo lluvioso. *Biocencia XXVI*(1), 104-111 <https://doi.org/10.18633/biotech.v26.2004>
- Milton, J. S. (2007). *Estadística para biología y ciencias de la salud*. Madrid, España: Mc GrawHill Interamericana.
- Oliva-Hernández, J., & García-Osorio, I. del C. (2016). A note on the changes in the preweaning growth of Pelibuey lambs. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 48(3), 293-298. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2016000300008>
- Quintanilla-Medina, J. J., González-Reyna, A., Hernández-Meléndez, J., Limas-Martínez, A. G., Carreón-Pérez, A., & Martínez-González, J. C. (2018). Producción de ovinos de pelo bajo condiciones de pastoreo en el noreste de México. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 29(2), 544-551. <https://doi.org/10.15381/rivep.v29i2.13863>
- Ríos-Utrera, A., Calderón-Robles, R., Lagunes-Lagunes, J., & Oliva-Hernández, J. (2014). Ganancia de peso predestete en corderos Pelibuey y sus cruces con Blackbelly, Dorper y Katahdin. *Nova Scientia*, 6(12), 272-286. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052014000200014
- SAS Institute Inc. (2012). Software SAS (Versión 9.3). Cary, North Caroline, USA: SAS Institute Inc.
- Senes, B. B., da Cruz, V. A. R., Azevedo, H. C., Costa, R. B., & de Camargo, G. M. F. (2024). Estimation of genetic parameters for reproductive indices in sheep. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 141, 485-490. <https://doi.org/10.1111/jbgs.12857>



EN

Inclusion of *Guazuma ulmifolia* (Lam) flour in the production parameters of broiler chickens

ES

Inclusión de harina de *Guazuma ulmifolia* (Lam) en los parámetros productivos de pollos de engorda

Oscar Pérez Jiménez¹; Fleider Leiser Peña Escalona^{2*}; Jesús A. Ramos Juárez³;
Roberto González Garduño¹; Victorino Gómez Valenzuela¹

¹Universidad Autónoma Chapingo. Unidad Regional Universitaria Sursureste, Teapa, Tabasco, México.

²Universidad Politécnica de Texcoco, Facultad de Comercio Internacional y Aduanas, Texcoco de Mora, Estado de México. México.

³Colegio de Postgraduados, Campus Cárdenas, Cárdenas, Tabasco, México.

*Corresponding author:

fleiderpena@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-1490-0734.

Received: May 25, 2025

Accepted: October 24, 2025

Published online:

December 9, 2025

Abstract

The main production cost in a poultry production system is feed, which represents approximately 70% of all costs, therefore, it is important to take advantage of native tropical plant resources with nutritional potential, especially those with high protein content, such as guácimo (*Guazuma ulmifolia* Lam). The objective of this study was to determine the production parameters of broiler chickens supplemented with *G. ulmifolia* foliage as an alternative to reduce poultry feed costs. 60 broiler chickens were fed three diets, all of which included *G. ulmifolia* flour meal. Productive performance was recorded for 49 days, and the data were analyzed using a completely randomized design. The treatments consisted of: commercial feed, a diet with 10% *G. ulmifolia*, and a diet with 20% *G. ulmifolia*. There were four replicates per treatment and five chickens per experimental unit. The experiment was divided into two stages: The initial stage consisted of providing commercial feed to all birds (Weeks 1-3), and the fattening stage (4 weeks) the three treatments were tested. Chickens receiving 10% *G. ulmifolia* in their diet achieved a final weight no different from that of chickens fed commercial feed (2.27 ± 0.17 and 2.61 ± 0.08 kg, respectively), and the best economic profitability was observed (1.53 vs. 1.34, respectively). The commercial feed resulted in the highest weight gain (0.067 kg), highest feed intake (4.71 kg) and best feed conversion (2.49), generating the highest income (\$1,829.1). Meanwhile, the diet with 20% *G. ulmifolia* resulted in the lowest feed intake (3.64 kg), lowest final weight (1.76 kg) and lowest income (\$1,234.8). It is concluded that the inclusion of 10% of *G. ulmifolia* in the diets provided during the fattening stage of Cobb line chickens is feasible.

Keywords: Birds, unconventional food, *Guazuma ulmifolia*, protein.

Resumen

El principal costo de producción que se genera en un sistema de producción avícola es la alimentación, el cual representa cerca del 70 % de todos los costos, por lo que es importante aprovechar los recursos vegetales nativos del trópico con potencial alimenticio, especialmente aquellos alimentos con un alto contenido proteico como es el guácimo (*Guazuma ulmifolia* Lam). El objetivo del estudio fue conocer los parámetros productivos en pollos de engorda suplementados con follaje de *G. ulmifolia* como una alternativa para reducir los costos de la alimentación de aves. Se utilizaron 60 pollos de engorda alimentados con tres dietas, en las que se incluyó harina de *G. ulmifolia*. Durante 49 días se registró el comportamiento productivo y se analizó la información con un diseño completamente al azar. Los tratamientos consistieron en: alimento comercial, dieta con 10 % de *G. ulmifolia* y dieta con 20 % de *G. ulmifolia*. Se tuvieron cuatro repeticiones en cada tratamiento y cinco pollos como unidad experimental. El experimento se dividió en dos etapas: La inicial que consistió en proporcionar alimento comercial a todas las aves (Semana 1-3) y en la etapa de engorda (4 semanas) se probaron los tres tratamientos. Los pollos que recibieron 10 % de *G. ulmifolia* en la dieta obtuvieron un peso final sin diferencias al de los pollos con alimento comercial (2.27 ± 0.17 y 2.61 ± 0.08 kg, respectivamente), y se observó la mejor rentabilidad económica (1.53 vs 1.34, respectivamente). Con el alimento comercial se obtuvo la mayor ganancia de peso (0.067 kg), mayor consumo (4.71 kg) y mejor conversión alimenticia (2.49), generando el mayor ingreso (\$1 829.1). Mientras que la dieta con 20 % de guácimo tuvo el menor consumo de alimento (3.64 kg), el menor peso final (1.76 kg) y el menor ingreso (\$1 234.8). Se concluye que es factible la inclusión de 10 % de *G. ulmifolia* en las dietas proporcionadas durante la etapa de engorda de pollos de la línea Cobb.

Palabras clave: Aves, alimento no convencional, *Guazuma ulmifolia*, proteína.

Introduction

Rapid population growth is driving a greater demand for livestock-based foods that provide high-quality, natural, and safe protein that does not pose a risk to consumer health (Luiselli-Fernández, 2020). Meat consumption in Mexico was 41.3 kg per capita in 1993 and has gradually increased, reaching in 2021 an estimated 65 kg per person, per year, which places Mexico sixth worldwide and fourth in per capita chicken consumption, with an average of 35 kg. Chicken is the most consumed meat in Mexico, in 2023 consumption reached 4,877,000 tons, with annual production increases to meet demand (Salazar-Castillo, 2024).

The main cost in broiler chicken production, regardless of scale (commercial, small-scale, or family-run), is feed, representing approximately 70% of total expenses (Orozco-Campos et al., 2004). Because feed companies offer their products at high cost, small producers experience low profitability (Medina-Cardena et al., 2012), forcing them to use locally sourced products to reduce spending on commercial feed. Corn is the main ingredient in the production of balanced feed for poultry, which in addition to creating competition with this product intended for human consumption, makes the cost of formulation dependent on the corn market (Jaime-Vargas, 2024), therefore, the incorporation of locally sourced ingredients for poultry feed also provides independence for backyard poultry production.

Local feeding options may include: poultry grazing, insect protein as a nutrient source (Moreno, 2021), and another option that has been explored is the use of foliage with high protein content such as that of *Guazuma ulmifolia*, a tree with significant nutritional properties, that stands out for its use in silvopastoral systems, as its forage and fruits are highly nutritious and desirable for livestock (Medina-Litardo et al., 2020). The leaves have a protein content of 13 to 17%, and the fruit has 7 to 10%. This plant is edible for cows, horses, goats, and pigs, and is highly valued in the tropics because it provides forage during the dry season (Hernández-Morales et al., 2018). The leaves, both dried and ground by hand and mixed with sorghum, are used as a protein supplement for hens, resulting in an increase in egg production when compared to the traditional diet (Téllez-Flores & Vivas-Tórrez, 2008).

Given the above, the objective of the study was to know the productive parameters in broiler chickens supplemented with *Guazuma ulmifolia* foliage as an alternative to reduce feed costs.

Materials and Methods

Location

The research was conducted at the experimental farm of the Unidad Regional Universitaria Sursureste (URUSSE)

Introducción

El rápido crecimiento de la población exige una mayor demanda de alimentos de origen pecuario que aporten proteína de alta calidad, de origen natural e inocuos, de modo que no pongan en riesgo la salud de los consumidores (Luiselli-Fernández, 2020). El consumo de carne en México fue de 41.3 kg per cápita en 1993 y se ha incrementado paulatinamente, lográndose en 2021 un consumo estimado de 65 kg por persona, por año, lo que ubica a México en el sexto lugar a nivel mundial y el cuarto lugar en el consumo per cápita de carne de pollo con un promedio de 35 kg. La carne de pollo es la más consumida en México, en 2023 el consumo fue de cuatro millones 877 mil toneladas, con un incremento anual de la producción para poder suplir la demanda (Salazar-Castillo, 2024).

El principal costo en la producción de pollo de engorda, independientemente de la escala (comercial, pequeña escala o familiar), es el originado por la alimentación, ya que representa cerca del 70 % del total de los gastos que se realizan (Orozco-Campos et al., 2004). Debido a que las empresas comercializadoras de alimentos balanceados ofertan sus productos a un alto costo, provocan que los pequeños productores obtengan una baja rentabilidad (Medina-Cardena et al., 2012), lo que los obliga a utilizar productos de origen local para reducir el gasto en productos comerciales. El maíz es el principal insumo en la elaboración de alimentos balanceados para la alimentación de las aves, lo que además de provocar competencia con este producto destinado al consumo humano, hace que el costo de la formulación dependa del mercado de este grano (Jaime-Vargas, 2024), por lo que la incorporación de ingredientes de origen local para la alimentación de las aves otorga además independencia para la producción de aves de traspatio.

Las opciones de alimentación local pueden considerar algunas como: pastoreo de aves, proteínas de insectos como fuente de nutrientes (Moreno, 2021), y otra opción que se ha explorado es el uso de follajes con alto contenido de proteína como es el caso de *Guazuma ulmifolia*, el cual es un árbol con importantes propiedades alimenticias, que se destaca por su uso en sistemas silvopastoriles, ya que el forraje y los frutos son altamente nutritivos y apetecidos por el ganado (Medina-Litardo et al., 2020). Las hojas tienen un contenido de proteína de 13 a 17 % y el fruto de 7 a 10 %. Esta planta es comestible por vacas, caballos, cabras y cerdos, con alto valor en el trópico porque representan fuentes de forraje durante la estación seca (Hernández-Morales et al., 2018). Se utilizan las hojas, tanto secas como molidas a mano y mezcladas con sorgo, como suplemento proteico para gallinas, con lo que se logra un aumento

of the Universidad Autónoma Chapingo (UACH), located in San José Puyacatengo, Teapa, Tabasco, Mexico, between 17°15' and 17°45' North latitude and 90°38' and 93°46' West longitude. The climate is warm and humid with year-round rainfall (Af). The dry season is from March to May with an average temperature of 26 °C (SMN, 2024).

Poultry management

For the purpose of evaluating meat production, 60 day-old Cobb broiler chickens were acquired. The chicks were housed for the initial stage in a barn with wood shavings bedding, provided with commercial starter feed containing 22% protein *ad libitum* and water was provided in manual drinkers.

During the fattening stage when the chicks were 22 days old, they were distributed into four groups of five birds (experimental unit). Each group was randomized into one of the three treatments: T1 (commercial feed with 19% crude protein), T2 (diet with 10% *G. ulmifolia*), and T3 (diet with 20% *G. ulmifolia*).

Obtaining the ingredients

To produce the *G. ulmifolia* flour, the leaves were harvested from a protein bank located in the URUSSE cattle production module. The leaves were dried for one week in the shade and then processed in a Swissmex mill with a 2 mm sieve. The flour was placed in plastic bags to prevent moisture absorption until use. The rest of the ingredients used to feed the chickens were purchased locally (corn ground to a size of 2 mm, soybean meal, and commercial feed).

Eggshells were used as a source of calcium. Eggshells were collected, washed, and dried, then toasted in a container and ground to obtain flour. Probiotics were also used, for which a Vitaferm-style formula (Bustamante-García et al., 2021) was prepared using the following procedure: In a 20-liter container, 1.5 kg of molasses, 400 g of soybean paste, 400 g of rice bran, 500 g of mineral salts, 32 g of magnesium sulfate, 48 g of urea, 500 mL of plain yogurt, and 7.6 L of tap water were added. The mixture was stirred constantly (approximately every 2 hours) for three consecutive days. After three days of liquid fermentation, the buckets were transferred to a 200-liter tank, adding 15 kg of molasses, 4 kg of soybean meal, 4 kg of rice bran, 5 kg of mineral salts, 320 g of magnesium sulfate, 480 g of urea, and 76 L of water were added. The mixture was stirred constantly for three days until it was then ready for use.

Preparation of the experimental diets

The diets were balanced at minimum cost, and to replace corn in one diet 10% of *G. ulmifolia* in flour was

en la producción de huevo cuando se compara con la dieta tradicional (Téllez-Flores & Vivas-Tórrez, 2008).

Ante lo anterior, el objetivo del estudio fue conocer los parámetros productivos en pollos de engorda suplementados con follaje de *Guazuma ulmifolia* como una alternativa para reducir los costos de la alimentación.

Materiales y Métodos

Localización

El trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la granja experimental de la Unidad Regional Universitaria Sursureste (URUSSE) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), ubicada en San José Puyacatengo, Teapa, Tabasco, México, entre las coordenadas 17°15' y 17°45' de latitud Norte y los 90°38' y 93°46' de longitud Oeste. El clima es cálido húmedo con lluvias todo el año (Af). Época de secas de marzo a mayo con una temperatura media de 26 °C (SMN, 2024).

Manejo de las aves

Con el propósito de evaluar la producción de carne, se adquirieron 60 pollos de engorda de la línea Cobb de 1 día de edad. Los pollitos se alojaron para la etapa inicial en una galera con cama de viruta de madera, proporcionándoles alimento comercial de iniciación con 22 % de proteína a libertad y se proporcionó agua en bebederos manuales.

En la etapa de engorda cuando los pollitos tuvieron 22 días de edad se distribuyeron en cuatro grupos de cinco aves (unidad experimental). Cada grupo se aleatorizó en alguno de los tres tratamientos: T1 (alimento comercial con 19 % de proteína cruda), T2 (dieta con 10 % de *G. ulmifolia*) y T3 (dieta con 20 % de *G. ulmifolia*).

Obtención de los ingredientes

Para la elaboración de la harina de *G. ulmifolia* se cosecharon las hojas en un banco de proteína ubicado en el módulo de producción de bovinos de la URUSSE. El secado de las hojas se realizó durante una semana bajo sombra y al finalizar se procesó en un molino de la marca swissmex con criba de 2 mm. La harina se colocó en bolsas de plástico para evitar que se humedeciera, hasta su uso. El resto de los ingredientes utilizados para la alimentación de los pollos se compraron en la región (maíz molido a un tamaño de 2 mm, pasta de soya y alimento comercial).

Se utilizó cáscara de huevo como fuente de calcio, para lo cual se recolectaron cascarones y después de lavarlos y secarlos, se tostaron en un recipiente y se

Table 1. Composition of diets with the inclusion of *Guazuma ulmifolia* (Lam) flour to meet the nutritional needs according to the age of the broiler chickens.

Cuadro 1. Composición de las dietas con la inclusión de harina de *Guazuma ulmifolia* (Lam) para cubrir las necesidades nutrimentales de acuerdo con la edad de los pollos de engorda.

Ingredients (%) / Ingredientes	Day 1-21/ Día 1-21	Phase I, day 22 to 35 / Fase I, día 22-35		Phase II, day 36 to 42 / Fase II, día 36 a 42		Phase III, day 43 to 49 Fase III, día 43 a 49	
		(10 % G)	(20 % G)	(10 % G)	(20 % G)	(10 % G)	(20 % G)
Commercial food / Alimento comercial	100	30.3	0.8	28.1	0	30.9	1.3
Corn / Maíz		37.7	51.9	42.5	55.5	42.5	56.5
Soybean paste / Pasta de soya		16	21.3	13.4	18.5	10.6	16.2
Vitaferm		5	5	5	5	5	5
<i>Guazuma ulmifolia</i>		10	20	10	20	10	20
Eggshell / Cascara de huevo		1	1	1	1	1	1
Total	100	100	100	100	100	100	100

included and in the other diet 20% (Table 1). All diets were formulated to meet the protein and calorie requirements according to the birds' age, therefore, the fattening period was divided into three phases, the first phase from day 22 to 35, the second phase from day 36 to 42, and the third one from day 43 to 49. The chickens were then slaughtered, so weight was only recorded up to week seven of age. Once all the ingredients for each diet were available, they were mixed until a homogeneous feed was obtained, which was then provided during the indicated phases.

Bromatological analysis

The bromatological analyses were performed in the laboratory of Colegio de Posgraduados. Dry matter (Materia seca, MS by its Spanish abbreviation), crude protein (Proteína cruda, PC by its Spanish abbreviation), and ashes, were determined according to the methodology proposed by the Association of Official Analytical Chemistry (AOAC International, 2016). Neutral detergent fiber (Fibra detergente neutra FDN by its Spanish abbreviation) and acid detergent fiber (Fibra detergente ácida, FDA by its Spanish abbreviation), were determined according to Van Soest (Van Soest et al., 1991).

Feeding management

Food was provided throughout the day with free access, as was water, which included antibiotics to control respiratory problems that occurred in the initial stage during the first weeks.

Weighing and measurements

The birds were weighed at the beginning of the fattening period and every seven days using a digital scale (AND

molieron para obtener la harina. También se utilizaron probióticos, para lo cual se preparó una fórmula estilo Vitaferm (Bustamante-García et al., 2021) con el siguiente procedimiento: En un recipiente de 20 litros se agregaron 1.5 kg de melaza, 400 g de pasta de soya, 400 g de pulido de arroz, 500 g de sales minerales, 32 g de sulfato de magnesio, 48 g de urea, 500 mL de yogurt natural y 7.6 L de agua corriente. La mezcla se agitó constantemente (aproximadamente cada 2 horas), durante tres días consecutivos. Después de los tres días de fermentación líquida, las cubetas se pasaron a un tanque de 200 litros, agregando 15 kg de melaza, 4 kg de pasta de soya, 4 kg de pulido de arroz, 5 kg de sales minerales, 320 g de sulfato de magnesio, 480 g de urea y 76 L de agua. La mezcla se agitó constantemente durante tres días quedando listo para usarse.

Preparación de las dietas experimentales

Las dietas se balancearon al mínimo costo, y para sustituir al maíz en una dieta se incluyó 10 % de *G. ulmifolia* en harina y en la otra dieta 20 % (Cuadro 1). Todas las dietas se formularon para cubrir las necesidades proteicas y calóricas de acuerdo con la edad de las aves, por lo que el periodo de engorda se dividió en tres fases, la primera fase del día 22 al 35 de edad, la segunda fase del día 36 al 42 y la tercera fase del día 43 al 49. Posteriormente los pollos se sacrificaron, por lo que el registro del peso solo fue hasta la semana siete de edad. Después de tener todos los ingredientes de cada dieta se mezclaron hasta obtener un alimento homogéneo, el cual se proporcionó durante las fases indicadas.

brand, with a capacity of 20 kg and a minimum of 0.10 kg). In week four, *G. ulmifolia* flour was introduced, and the amount of feed consumed and wasted was determined to calculate total feed intake and feed conversion, allowing for weekly adjustments to the feed provided. At the end of the study, at the time of slaughter (49 days) each bird was weighed before and after plucking, and carcass yield was calculated.

Profitability

A profitability analysis was performed to determine the profit per treatment using the Ingalls-Ortiz profitability index (IOR) method. This index is obtained by dividing the total income (kg of meat sold by the selling price) by the cost of feed consumed and wasted (CP), adding an adjustment factor (FA) that estimates other production costs. The FA is determined by dividing 100 by the percentage of the cost represented by the feed (Ortiz et al., 1997).

The Ingalls-Ortiz profitability index is $\text{IOR} = \text{Total Income (IT)} / \text{Production Costs (CP)}$

1. Total income is $\text{IT} = \text{K} \times \text{PV}$, where K: Kilograms Produced PV: Selling Prices
2. Production Cost is $\text{CP} = (\text{AC} \times \text{PA}) \times \text{FA}$ where AC: Food Consumed, PA: Price of Food, FA: Conversion Factor

Statistical analysis

A total of 12 pens were built inside a shed. Five chicken were housed in each 0.5 m² pen (experimental unit). Each treatment had four replicates. Statistical analyses were performed using the statistical package (SAS), which analyzed the information based on a completely randomized model. The differences in means were obtained using Duncan' test with a minimum significance level of 5%.

Results

Bromatological composition of *G. ulmifolia*

The bromatological composition of *G. ulmifolia* foliage was: 23.9% dry matter (MS), 16.38% crude protein (PC), 11.15% ash, 64.65% neutral detergent fiber (FDN), and 36.85% acid detergent fiber (FDA). This information was used to balance rations at the lowest cost during the three stages of the study.

Production variables

The best production performance was obtained in the group of chickens that received the commercial feed, as they recorded the highest final weight and highest feed intake, but the lowest feed conversion values.

Análisis bromatológicos

Los análisis bromatológicos se realizaron en el laboratorio del Colegio de Posgraduados. La materia seca (MS), proteína cruda (PC) y cenizas, según la metodología propuesta por la Asociación de Química Analítica Oficial (AOAC International, 2016). La fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA), según Van Soest (Van Soest et al., 1991).

Manejo de la alimentación

La alimentación fue proporcionada durante todo el día a libre acceso, de igual manera se proporcionó agua, en la cual se incluyeron antibióticos para controlar problemas respiratorios que se presentaron en la etapa inicial durante las primeras semanas.

Pesaje y mediciones

El pesaje de las aves se realizó al comienzo de la etapa de engorda y cada siete días con una balanza digital (marca AND con una capacidad de 20 kg y mínima de 0.10 kg). En la semana cuatro se comenzó a proporcionar harina de *G. ulmifolia* y se determinó la cantidad de alimento consumido y desperdiciado, para obtener el consumo total y la conversión alimenticia para ajustar semanalmente el alimento proporcionado. Al final del estudio en el momento del sacrificio (49 días) se pesó cada ave antes y después de retirar las plumas, con lo que se calculó el rendimiento en canal.

Rentabilidad

Se realizó un análisis de rentabilidad para determinar la utilidad por tratamiento usando el método de índice de rentabilidad Ingalls-Ortiz (IOR). Este índice se obtiene dividiendo el ingreso total (kg de carne vendidos por el precio de venta) entre el costo del alimento consumido y desperdiciado (CP), adicionando un factor de ajuste (FA) que estima los otros costos de la producción. El FA se determina dividiendo 100 entre el porcentaje del costo que presenta el alimento (Ortiz et al., 1997).

Índice de rentabilidad Ingalls-Ortiz es $\text{IOR} = \text{Ingreso total (IT)} / \text{Costos de Producción (CP)}$

1. Ingreso total es $\text{IT} = \text{K} \times \text{PV}$, donde K: Kilos Producidos PV: Precios de Venta.
2. Costo de Producción es $\text{CP} = (\text{AC} \times \text{PA}) \times \text{FA}$ donde AC: Alimento Consumido, PA: Precio de Alimento, FA: factor de Conversión

Análisis estadístico

Se construyeron un total de 12 corrales dentro de una galera. En cada corral de 0.5 m² (unidad experimental)

Table 2. Productive variables obtained in broiler chickens with diets containing *Guazuma ulmifolia* flour.
Cuadro 2. Variables productivas obtenidas en pollos de engorda con las dietas conteniendo harina de *Guazuma ulmifolia*.

Variables	Commercial food / Alimento Comercial	Diet 10 % <i>G. ulmifolia</i> / Dieta 10 % de <i>G. ulmifolia</i>	Diet 20 % <i>G. ulmifolia</i> / Dieta 20 % de <i>G. ulmifolia</i>
Initial weight (kg) / Peso inicial (kg)	0.72 ± 0.02	0.74 ± 0.10	0.74 ± 0.21
Final weight (kg) / Peso Final (kg)	2.61±0.08 ^a	2.27±0.17 ^b	1.76±0.06 ^c
Weight gain (kg) / Incremento de peso (kg)	1.89 ^a	1.54 ^b	1.02 ^c
Total feed consumption (kg) / Consumo total de alimento (kg)	4.71 ^a	4.14 ^a	3.64 ^b
Daily weight gain (kg) / Ganancia diaria de peso (kg)	0.067 ^a	0.054 ^b	0.036 ^c
Feed conversion (kg) / Conversión alimenticia (kg)	2.49 ^b	2.69 ^b	3.56 ^a
Slaughter weight (kg) / Peso al sacrificio (kg)	2.87 ^a	2.75 ^a	2.27 ^b
Carcass weight (kg) / Peso en canal (kg)	2.46 ^a	2.38 ^a	1.82 ^b
Carcass yield (%) / Rendimiento en canal (%)	85.63 ^a	86.91 ^a	80.26 ^b

Different letters in the same row represent significant differences ($P < 0.05$) / Letras diferentes en la misma fila representan diferencias significativas ($P < 0.05$)

With the 10% *G. ulmifolia* diet, many of the production variables were similar to those of the commercial feed, except for the final weight, which was lower. However, with a level of 20% *G. ulmifolia* level, all variables decreased, and therefore, this diet did not allow for adequate growth of the broiler chickens. (Table 2).

Consumption

The consumption obtained clearly reflected the palatability of each diet. The highest consumption was in the group of chickens that received the commercial feed, followed by those that received the diet containing 10% *G. ulmifolia*, and the least accepted and consumed diet was the one with 20% *G. ulmifolia*.

Significant differences were observed between the three treatments ($P < 0.01$), with commercial feed being the most consumed, favoring weight gain (Figure 1). The inclusion of 10% *G. ulmifolia* in the diet led to a reduction in consumption, and with 20% of *G. ulmifolia*, the animals reduced their consumption even further. With 20% *G. ulmifolia* at 35 days, consumption was reduced by 39%, at 42 days by 37 %, while at 49 days consumption was reduced by 32%, so that as age increased, the birds were able to tolerate the

se alojaron cinco pollos. Cada tratamiento consideró cuatro repeticiones. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico (SAS), con el que se analizó la información basándose en un modelo completamente al azar. Las diferencias de medias se obtuvieron con la prueba de Duncan con un nivel de significación mínimo de 5 %.

Resultados

Composición bromatológica de *G. ulmifolia*

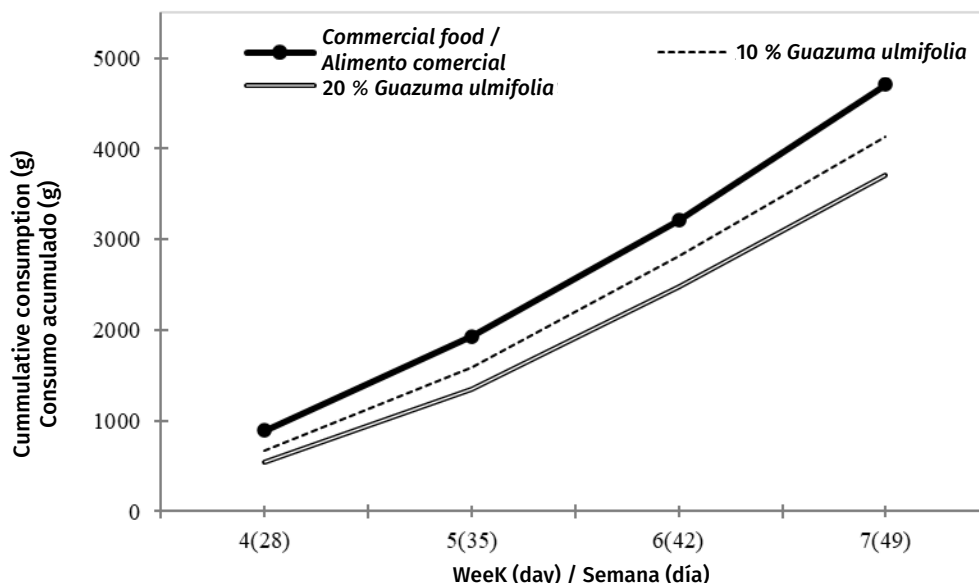
La composición bromatológica del follaje de *G. ulmifolia* fue: 23.9 % de materia seca (MS), 16.38 % de proteína cruda (PC), cenizas 11.15 %, fibra detergente neutra (FDN) 64.65 % y fibra detergente ácida (FDA) 36.85 %. Con esa información se realizó el balanceo de raciones al mínimo costo durante las tres etapas de estudio.

Variables productivas

El mejor comportamiento productivo se obtuvo en el grupo de pollos que recibieron el alimento balanceado comercial al registrarse el mayor peso final y los mayores consumos, pero los menores valores de conversión alimenticia. Mientras que con la dieta de 10 % de *G. ulmifolia* se observó que muchas de las variables productivas

Figure 1. Cumulative feed consumption (grams) per treatment, according to the age of Cobb line broiler chicken.

Figura 1. Consumo de alimento acumulado (gramos) por tratamiento, de acuerdo con la edad de los pollos de engorda línea Cobb



consumption of *G. ulmifolia* a little more. With the inclusion of 10% *G. ulmifolia*, consumption decreased by 18.6%, 12.8%, and 13.1% on the respective days, so this foliage should not be included at more than 10%, as it reduces feed intake.

Live weight

In the initial stage, which corresponded from the first day of the chicks until they reached the third week (21 days of age), the animals achieved an average weight of 0.734 ± 0.02 kg. After the diets were provided and when the birds were four weeks old, differences in live weight were observed (Figure 2). The factors studied including treatment and age of the bird affected the live weight of the chickens ($P < 0.01$). At four weeks of age, birds fed commercial feed (1.180 ± 0.04 kg) had a greater weight than those fed the 10% *G. ulmifolia* diet (0.983 ± 0.09 kg) and those fed the 20% *G. ulmifolia* diet (0.858 ± 0.07 kg). Therefore, the addition of *G. ulmifolia* affected feed intake and, consequently, the live weight of the chickens.

At fifth and sixth week of age, the differences among the treatments became more evident and by week seven, when the experiment ended, the chickens that received commercial feed had the best growth and the final weight of 2.61 ± 0.08 kg, while the chickens that received *G. ulmifolia* had a lower final weight, with 10 % of *G. ulmifolia* achieving a weight of 2.27 ± 0.18 kg and 20 % *G. ulmifolia* achieving a weight of 1.76 ± 0.06 kg (Figure 2).

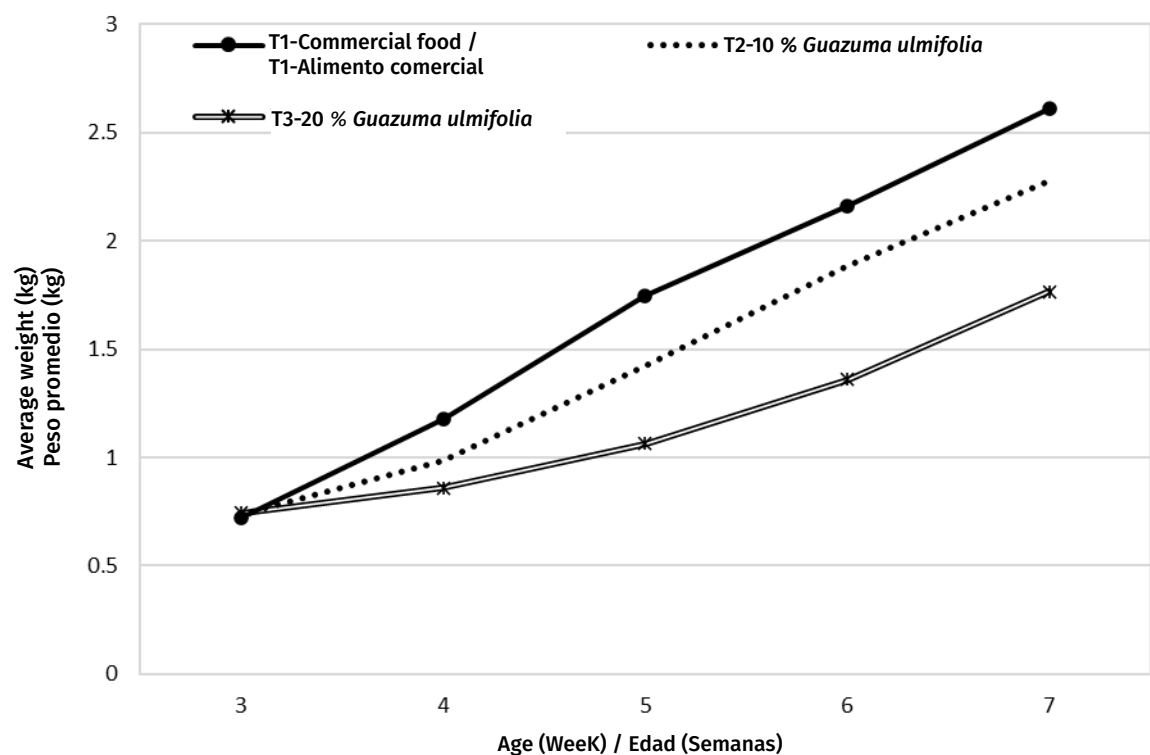
fueron similares al del alimento comercial pero no en el peso final, el cual fue menor. Sin embargo, con un nivel de 20 % de *G. ulmifolia* todas las variables se redujeron y, por lo tanto, esta dieta no permitió un crecimiento adecuado de los pollos de engorda (Cuadro 2).

Consumo

El consumo obtenido reflejó claramente la palatabilidad de cada dieta. El mayor consumo fue en el grupo de pollos que recibieron el alimento comercial, seguido de los que recibieron la dieta que contenía el 10 % de *G. ulmifolia* y la menos aceptada y consumida fue la de 20 % de *G. ulmifolia*.

Se observaron diferencias significativas entre los tres tratamientos ($P < 0.01$), donde el alimento comercial fue el más consumido favoreciendo el aumento de peso (Figura 1). En el caso de la inclusión de 10 % de *G. ulmifolia* en la dieta originó una reducción del consumo y con el 20 % de *G. ulmifolia* los animales redujeron aún más su consumo. Con 20 % de *G. ulmifolia* a los 35 días, el consumo se redujo en 39 %, a los 42 días en 37 %, mientras que a los 49 días el consumo se redujo en un 32 %, por lo que conforme se incrementó la edad fue posible que las aves toleraran un poco más el consumo de *G. ulmifolia*. Con la inclusión de 10 % de *G. ulmifolia* la reducción del consumo fue de 18.6, 12.8 y 13.1 % a los días respectivos, por lo que este follaje no se debería incluir en más de 10 %, ya que se reduce el consumo de alimento.

Figure 2. Change in live weight of Cobb broiler chickens, by treatment and week during the fattening stage
Figura 2. Cambio de peso vivo de pollos de engorda línea Cobb, por tratamiento y semana durante la etapa de engorda



Feed conversion

Feed conversion was reduced in birds treated with 20% *G. ulmifolia* flour, while the best feed conversion was found in those receiving commercial feed, with no significant differences compared to chickens receiving 10% *G. ulmifolia* (Table 2).

Carcass yield

Carcass yield showed differences among the three treatments ($P < 0.01$). The lowest carcass yield was obtained in chickens fed with 20% *G. ulmifolia*. There were no significant differences between the other two groups. Therefore, chickens fed commercial feed and those fed the diet containing 10% *G. ulmifolia* had similar carcass yields (Table 2).

Mortality rate

A mortality rate of 2.8% was recorded from the first day of age until the fourth week, subsequently, some respiratory problems appeared, which were treated with antibiotics such as Doxycycline combined with a mucolytic expectorant (Ambroxol) (Valsyn® NF, PISA) at

Peso vivo

En la etapa inicial, que correspondió desde el primer día de los pollos hasta cumplir la tercera semana (21 días de edad), los animales lograron un peso promedio de 0.734 ± 0.02 kg. Después de que se proporcionaron las dietas y cuando las aves tenían cuatro semanas de edad, se observaron diferencias en el peso vivo (Figura 2). Los factores estudiados que incluyeron tratamiento y edad del ave afectaron el peso vivo de los pollos ($P < 0.01$). A la cuarta semana de edad, las aves que recibieron alimento comercial (1.180 ± 0.04 kg) tuvieron mayor peso que los alimentados con la dieta de 10 % *G. ulmifolia* (0.983 ± 0.09 kg) y que los de la dieta de 20 % de *G. ulmifolia* (0.858 ± 0.07 kg). Por lo que la adición de *G. ulmifolia* afectó el consumo y, por lo tanto, el peso vivo de los pollos.

A la quinta y sexta semana de edad las diferencias entre los tratamientos se hicieron más evidentes y a la semana siete, momento en el que finalizó el experimento, los pollos que recibieron alimento comercial tuvieron el mejor crecimiento y el peso final fue de 2.61 ± 0.08 kg, mientras que los pollos que recibieron *G. ulmifolia* tuvieron menor peso final y se logró para

Table 3. Calculation of the Ingalls-Ortiz profitability index, by treatment
Cuadro 3. Cálculo de índice de rentabilidad Ingalls- Ortiz, por tratamiento

Treatment / Tratamiento	Total standing weight (kg) / Peso total en pie (kg)	Price \$ / Precio \$	Income \$ / Ingreso \$	Cost feed/bird (AC*PA)*FA /Costo alimentaciónave (AC*PA)*FA	No. of birds / Núm. de aves	Total feed cost per treatment (\$) / Costo total de alimentación por tratamiento (\$)	IOR
Commercial food / Alimento comercial	52.26	35	1829.1	68.4255*	20	1367.14	1.34
10 % <i>G. ulmifolia</i> / 10 % <i>G. ulmifolia</i>	45.48	35	1591.8	52.0949*	20	1040.86	1.53
20 % <i>G. ulmifolia</i> / 20 % <i>G. ulmifolia</i>	35.28	35	1234.8	44.2585*	20	884.29	1.40

Note: *The adjustment factor used is 70% of the production cost corresponding to feed. AC: Feed Consumed, PA: Feed Price, FA: Conversion Factor.

Nota: *El factor de ajuste ocupado es el 70 % del costo de producción que corresponde a la alimentación. AC: Alimento Consumido, PA: Precio de Alimento, FA: Factor de Conversión

a curative dose, with which the recovery of the animals was achieved.

Profitability

The profitability analysis showed a higher value according to the Ingalls-Ortiz profitability index (IOR) calculation with the use of the diet made with 10% *G. ulmifolia*, followed by the diet with 20% *G. ulmifolia*, because the commercial feed increased the cost of production (Table 3).

Discussion

Corn is considered primarily a food for human consumption. However, it has been traditionally used in backyard poultry farming, mainly in rural areas, where production is intended for self-consumption and in some cases for sale, especially when some income is needed (Gutiérrez-Triay et al., 2007). Along with other grains such as sorghum and soybeans it has been a key ingredient in the production of commercial feeds for pigs and poultry. New sources of energy or protein have been sought for monogastric animal feed, especially for high-growth-potential birds, whose diets must include a high amount of protein, consequently, protein ingredients and other products have been used as growth promoters (Tenías-Campos et al., 2021).

Guásimo (*G. ulmifolia*) is a plant with numerous uses, including the control of gastrointestinal nematodes in sheep (Bodo et al., 2020), and its potential benefits for blood pressure and cancer in humans (Susanto et al., 2020), among others, but few studies have explored the

10 % de guácimo un peso de 2.27 ± 0.18 kg y con 20 % de guácimo el peso de los pollos fue de 1.76 ± 0.06 kg (Figura 2).

Conversión alimenticia

La conversión alimenticia afectó a las aves que recibieron el tratamiento con 20 % de harina de *G. ulmifolia*, mientras que la mejor conversión alimenticia de las aves correspondió a las que recibieron el alimento comercial, sin que existieran diferencias significativas con los pollos que recibieron el 10 % de *G. ulmifolia* (Cuadro 2).

Rendimiento en canal

En el rendimiento en canal se observaron diferencias entre los tres tratamientos ($P < 0.01$). El menor rendimiento en canal se obtuvo en los pollos alimentados con 20 % de *G. ulmifolia*. Entre los otros dos grupos no hubo diferencias significativas. Por lo que alimentar pollos con alimento comercial y aquellos con la dieta conteniendo 10 % de *G. ulmifolia*, tuvieron similar rendimiento de la canal (Cuadro 2).

Porcentaje de mortalidad

Se registró una mortalidad de 2.8 % desde el primer día de edad hasta la cuarta semana, posteriormente se presentaron algunos problemas respiratorios, los cuales se trataron con antibióticos como Doxiciclina combinado con un mucolítico expectorante (Ambroxol) (Valsyn® NF, PISA) a una dosis de curativa, con lo que se logró la recuperación de los animales.

use of *G. ulmifolia* in poultry feed. However, this plant shows potential in poultry nutrition because its chemical composition has been shown to have an adequate crude protein (PC, 16.38%) content. While other studies have reported lower protein levels with bromatological analyses indicating PC content of 12.50 to 16% (Carranza-Montaña et al., 2003). The PC content in this study reached 16%, which is suitable for inclusion in poultry feed. This protein value was likely obtained due to the regrowth age of foliage, since protein content is one of the food components affected by many factors, such as plant age, soil, fertilization, etc. The ash percentage was 11.15%, similar to that found by Carranza-Montaña et al. (2003).

Live weight is one of the productive parameters that is directly affected by the composition of diets, as observed in the results obtained and as indicated by another investigation in which the inclusion of mulberry leaf flour in the diet for broiler chickens was evaluated and a linear decrease in body weight was observed as the inclusion of mulberry increased, in addition to concluding that at levels greater than 4% the development and carcass yield of the broiler chicken is negatively affected (Itzá-Ortiz et al., 2010).

The greatest weight gains ($P < 0.01$) were observed in chickens fed the commercial feed, although statistically they were similar to those observed in chickens fed 10% *G. ulmifolia*, which also had similar feed intake and final market weight. In contrast, the lowest production indices were obtained with the 20% *G. ulmifolia* diet due to low palatability and, therefore, low feed intake, which in turn impacted the low weight gain. Although in the last week the animals showed greater feed acceptance and improved weight gain, it was not enough to achieve the weight gain and feed intake of the other treatments.

In feed conversion, it was observed that between the commercial feed and the feed with 10% *G. ulmifolia* there were no significant differences and the average conversion was 2.49 to 2.69, values higher than those observed in another study in which it was found that the best feed conversion was obtained by including 4% of *Leucaena* leaf meal in the feed of chickens, with which it required 1.80 kg to generate 1 kg of meat, being even better than the treatment without *Leucaena* flour (Rodríguez et al., 2007). The few studies that exist on *G. ulmifolia* have focused on its use in the form of extracts as food additives on feed efficiency in quail (Lokapirnasari et al., 2023) and on the evaluation of egg quality (Lovela et al., 2023), while in broiler chickens, it has been used as a meal to reduce triglycerides and the amount of fat in the abdomen (Budiarto et al., 2016).

Regarding carcass yield, no statistically significant differences were found between the birds that received

Rentabilidad

El análisis de rentabilidad mostró un mayor valor de acuerdo con el cálculo de índice de rentabilidad Ingalls-Ortiz (IOR) con el uso de la dieta elaborada con el 10 % de *G. ulmifolia*, seguida de la dieta con 20 % de *G. ulmifolia*, porque el alimento comercial encareció la producción (Cuadro 3).

Discusión

El maíz es considerado un alimento principalmente para consumo humano. Sin embargo, se ha utilizado de manera tradicional en la crianza de aves de traspatio, principalmente en zonas rurales, en las que la producción es destinada para autoconsumo y en algunos casos para la venta, sobre todo, cuando se requiere de algún ingreso económico (Gutiérrez-Triay et al., 2007). Sin embargo, junto con otros granos como sorgo y soya han sido los principales ingredientes en la elaboración de alimentos comerciales para cerdos y aves. Se han buscado nuevas fuentes de energía o proteína para la alimentación de monogástricos, especialmente para proporcionarse a aves de alto potencial de crecimiento, por lo que su alimentación debe incluir una alta cantidad de proteína y, por lo tanto, se han utilizado ingredientes proteicos y otros productos como promotores del crecimiento (Tenías-Campos et al., 2021).

El guásimo (*G. ulmifolia*) es una planta a la que se le han encontrado un sin número de funciones entre ellas el control de nematodos gastrointestinales en ovinos (Bodo et al., 2020), para la presión arterial y el cáncer en humanos (Susanto et al., 2020) y otros usos más, pero pocos estudios han utilizado a *G. ulmifolia* en la alimentación de pollos. Sin embargo, esta planta representa un potencial en la alimentación de las aves porque en su composición química se ha observado un adecuado contenido de proteína cruda (PC, 16.38 %). Aunque en otros estudios la cantidad de proteína ha sido menor y los análisis bromatológicos han indicado un contenido de PC de 12.50 a 16 % (Carranza-Montaña et al., 2003). En el presente estudio el contenido de PC alcanzó un 16 %, lo cual es adecuado para incluirlo en la alimentación de las aves. Seguramente se obtuvo este valor de proteína por efecto de la edad de rebrote que tenía el follaje, ya que la PC es uno de los componentes de los alimentos que se ve afectado por muchos factores, como la edad de la planta, suelo, fertilización, etc. En cuanto al porcentaje de cenizas se obtuvo un valor de 11.15 % siendo similar a lo encontrado por Carranza-Montaña et al. (2003).

El peso vivo es uno de los parámetros productivos que se afecta directamente por la composición de las dietas, tal como se observó en los resultados obtenidos.

the commercial feed (85.6%) and those that consumed the diet with 10% *G. ulmifolia* (86.9%), both treatments had a higher yield than using 20% guácimo (80.2%). These values were higher than those recorded in another study which found that carcass yield (74.3%) when including 3% *Morus alba* flour in the poultry diet was similar to the control group, which had a yield of 75.3% (Santos et al., 2014). The use of vegetables has been shown to reduce abdominal fat in broiler chickens, as was the case when they were given 0.3 g·L⁻¹ of licorice (*Glycyrrhiza glabra*) in their drinking water, this reduced abdominal fat attributed to the presence of hydrophobic flavonoids (Alagawany et al., 2019), while carcass yield was unaffected. A study conducted on different broiler breeds observed that carcass yield values ranged from 75 to 76% at 36 and 43 days, with lower values at 22 days of age (Abdullah et al., 2010). Based on the results obtained in the present study, it can be concluded that, the use of feeds such as *G. ulmifolia* does not negatively affect the carcass yield of broiler chickens.

In the pre-fattening stage, the recorded mortality rate was 2.8%. Upon entering the fattening stage, no mortality was recorded in the chickens of any of the three treatments, indicating that the addition of *G. ulmifolia* did not show any adverse effects on animal health. The mortality rate observed in a study during the starter phase using 0, 4, 8, and 12% inclusion of mulberry leaf flour was 3.33, 0.83, 1.67, and 2.50%, respectively with the highest rate for the treatment without mulberry meal. Similar mortality rates were observed during the fattening phase, with 4.17, 0.83, 1.67, and 3.33% (Itzá-Ortiz et al., 2010).

The greater the inclusion of *G. ulmifolia* in chicken fattening, the greater the impact on weight gain. At a 20% inclusion rate in the diet, the cost-benefit was negatively affected, generating a return of 40 cents for every peso invested. In contrast, the commercial feed resulted in higher production but increased feed costs, yielding a return of 34 cents for every peso invested, according to the profitability analysis by Ingalls-Ortiz. It was found that, including 10% *G. ulmifolia* flour, generated the highest profitability at 53 cents for every peso invested, as there were no differences in feed consumption or live weight. As mentioned in a study (Delgado et al., 2013), chickens that consumed commercial diet produced the greatest cost-benefit, but the level of inclusion of alternative foods negatively affected the cost-benefits, the higher the level of inclusion, the lower the weight gain, and thus the best option was with commercial concentrates.

Conclusions

Productive parameters (weight, consumption, feed conversion) decreased with the inclusion of *Guazuma*

nidos y como lo ha indicado otra investigación en la que se evaluó la inclusión de harina de hoja de morera en la dieta para pollos de engorda y se observó una disminución lineal en el peso corporal a medida que se incrementó la inclusión de morera, además de concluir que a niveles mayores del 4 % se afecta negativamente el desarrollo y rendimiento de la canal del pollo de engorda (Itzá-Ortiz et al., 2010).

Las mayores ganancias de peso ($P < 0.01$) se observaron en los pollos que recibieron el alimento comercial, aunque estadísticamente fueron similares a las observadas en los pollos alimentados con 10 % de *G. ulmifolia*, los cuales también tuvieron similar consumo y peso final al mercado. En contraste, con la dieta de 20 % de *G. ulmifolia*, se obtuvieron los más bajos índices productivos debido a la baja palatabilidad y, por lo tanto, bajo consumo de alimento, lo cual a su vez impactó en la baja ganancia de peso. Aunque en la última semana los animales mostraron mayor aceptación del alimento y mejoraron su ganancia de peso, no fue suficiente para alcanzar el incremento de peso y el consumo de los otros tratamientos.

En la conversión alimenticia, se observó que entre el alimento comercial y con 10 % de *G. ulmifolia* no mostraron diferencias significativas y el promedio de conversión fue de 2.49 a 2.69, valores superiores a los observado en otro estudio en el que se encontró que la mejor conversión alimenticia se obtenía al incluir un 4 % de harina de hoja de *Leucaena* en la alimentación de pollos, con el cual requirió de 1.80 kg para la generación de 1 kg de carne, siendo mejor incluso que el tratamiento sin harina de *Leucaena* (Rodríguez et al., 2007). Los pocos estudios que existen sobre *G. ulmifolia* se han enfocado a su uso en forma de extractos como aditivos alimenticios sobre la eficiencia alimenticia en codornices (Lokapirnasari et al., 2023) y en la evaluación en la calidad del huevo (Lovela et al., 2023), mientras que en pollo de engorda, se ha utilizado como harina para reducir los triglicéridos y la cantidad de grasa en abdomen (Budiarto et al., 2016).

En cuanto al rendimiento de la canal no se encontraron diferencias estadísticas entre las aves que recibieron el alimento comercial (85.6 %) y las que consumieron la dieta con el 10 % de *G. ulmifolia* (86.9 %), ambos tratamientos tuvieron mayor rendimiento que utilizando 20 % de guácimo (80.2 %). Estos valores fueron superiores a los registrados en otro estudio en el que encontraron que el rendimiento en canal (74.3 %) al incluir 3 % de harina de *Morus alba* en la dieta de aves era similar al testigo que tuvo un rendimiento de 75.3 % (Santos et al., 2014). Con el uso de vegetales se ha observado la reducción de la grasa abdominal en pollos de engorda, como fue el caso cuando se les proporcionó 0.3 g·L⁻¹

ulmifolia flour in the diet. The best parameters were obtained with the commercial feed, although at slaughter, carcass yield resulted in higher meat production with 10% *G. ulmifolia*, with no statistically significant differences found compared to the commercial feed.

The profitability of including 10% *G. ulmifolia* in the chickens' diet, allowed for improved economic gain, resulting in better production costs.

The inclusion of *G. ulmifolia* flour is recommended at no more than 10% according to the results obtained in the fattening of chickens up to 49 days of age.

End of End of English version

References / Referencias

- Abdullah, A. Y., Al-Beitawi, N. A., Rjoup, M. M. S., Qudsieh, R. I., & Ishmais, M. A. A. (2010). Growth performance, carcass and meat quality characteristics of different commercial crosses of broiler strains of chicken. *The Journal of Poultry Science*, 47(1), 13–21. <https://doi.org/10.2141/jpsa.009021>
- Alagawany, M., Elnesr, S. S., & Farag, M. R. (2019). Use of liquorice (*Glycyrrhiza glabra*) in poultry nutrition: Global impacts on performance, carcass and meat quality. *World's Poultry Science Journal*, 75(2), 293–303. <https://doi.org/10.1017/S0043933919000059>
- AOAC International. (2016). *Official Methods of Analysis* (AOAC International, Ed.; 20th ed.).
- Bodo, E. Le, Hornick, J. L., Moula, N., Serrano, A. Z., & Martínez-Alfaro, J. C. (2020). Assessment of gastrointestinal parasites and productive parameters on sheep fed on a ration supplemented with *guazuma ulmifolia* leaves in southern Mexico. *Animals*, 10(9), 1–13. <https://doi.org/10.3390/ani10091617>
- Budiarto, M. A., Yuniwati, E. Y. W., & Isroli. (2016). The effect of Jati Belanda (*Guazuma ulmifolia* L.) leaf powder in feed to content of blood triglyceride and abdominal fat Broiler. *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 1(1), 43–47.
- Bustamante-García, D., Savón Valdés, L. L., Elías Iglesias, A., Caro Ríos, Y., Valiño Cabrera, E. C., Valera Rojas, M., Martín Nyachoti, C., & Mireles, S. (2021). Chemical and microbiological characterization of a technological variant of Vitafert intended for animal production. Technical note. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 55(2), 161–167. <https://orcid.org/0000-0003-3340-7343>
- Carranza-Montaño, M. A., Sánchez-Velásquez, L., Pineda-López, M., & Cuevas-Guzmán, R. (2003). Calidad y potencial forrajero de especies del bosque tropical caducifolio de la sierra de Manatlán, México. *Agrociencia*, 37, 203–210. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30237211>
- Delgado, E., Orozco, Y., & Uribe, P. (2013). Productive performance of chickens fed with plantain flour considering benefit cost. *Zootecnia Tropical*, 31(4), 279–290.
- de regaliz (*Glycyrrhiza glabra*) en el agua para beber, con lo que redujeron la grasa abdominal atribuido a la presencia de flavonoides hidrofóbicos (Alagawany et al., 2019), mientras que el rendimiento de la canal no se afectó. En un estudio realizado en diferentes estirpes de pollos de engorda observaron que los valores de rendimiento en canal oscilaron entre 75 a 76 % a los 36 y 43 días, con menores valores cuando la edad era de 22 días (Abdullah et al., 2010). Con los resultados obtenidos en el presente estudio se puede concluir que, la utilización de alimentos como *G. ulmifolia* no afectan el rendimiento en canal de pollos de engorda.
- En la etapa previa a la engorda el porcentaje de mortalidad registrado fue de 2.8 %. Al entrar en la etapa de engorda no se registró mortalidad en los pollos de los tres tratamientos, por lo que la adición de *G. ulmifolia* no mostró algún efecto adverso en la salud de los animales. El porcentaje de mortalidad presentada en un estudio durante la fase de inicio utilizando 0, 4, 8 y 12 % de inclusión de harina de hoja de morera fue 3.33, 0.83, 1.67, 2.50 %, siendo más alta para el tratamiento que no tenía harina de morera. Mientras que durante la fase de engorda se encontró similar comportamiento con 4.17, 0.83, 1.67, 3.33 % de mortalidad (Itzá-Ortiz et al., 2010).
- Entre mayor fue la inclusión de harina de *G. ulmifolia* en la engorda de pollos, se afectó la ganancia de peso, por lo que con el 20 % de inclusión en la dieta se vio afectado el costo/beneficio generando 40 centavos por cada peso invertido, caso contrario ocurrió con el alimento comercial, el cual originó mayor producción, pero aumentaron los costos de alimentación, con lo que las ganancias fueron de 34 centavos por cada peso invertido, esto según los análisis de rentabilidad de Ingalls-Ortiz. Se encontró que al incluir 10 % de harina de *G. ulmifolia*, se generó mayor rentabilidad con 53 centavos por cada peso invertido debido a que no hubo diferencias ni en consumo ni en el peso vivo del animal. Tal como se menciona en un estudio (Delgado et al., 2013), los pollos que consumieron dieta comercial produjeron el mayor costo-beneficio, pero el nivel de inclusión de alimentos alternativos afectó de manera negativa en los costos-beneficios, a mayor nivel de inclusión se reduce la ganancia de peso y de esta manera la mejor opción fue con concentrados comerciales.

Conclusiones

Los parámetros productivos (peso, consumo, conversión alimenticia) se redujeron con la inclusión de harina de *Guazuma ulmifolia* en la dieta. Los mejores parámetros se obtuvieron con el alimento comercial, aunque al sacrificio el rendimiento en canal generó una mayor producción cárnica con el 10 % de *G. ulmifolia*, sin encontrarse diferencias estadísticas con el alimento comercial.

- Gutiérrez-Triay, M. A., Segura-Correa, J., López-Burgos, L., Santos-Flores, J., Santos Ricalde, R., Sarmiento-Franco, L., Carvajal-Hernández, M., & Molina-Canul, G. (2007). Características de la avicultura de traspatio en el municipio de Tetiz, Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 7, 217–224. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93970308>
- Hernández-Morales, J., Sánchez-Santillán, P., Torres-Salado, N., Herrera-Pérez, J., Rojas- García, A. R., Reyes-Vázquez, I., & Mendoza-Núñez, M. A. (2018). Composición química y degradaciones *in vitro* de vainas y hojas de leguminosas arbóreas del trópico seco de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(1), 105–120. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4332>
- Itzá-Ortiz, M. F., Lara y Lara, P. E., Magaña Magaña, M., & Sanginés García, J. (2010). Evaluación de la harina de hoja de morera (*Morus alba*) en la alimentación de pollos de engorda. *Zootecnia Tropical*, 28(4), 477–487.
- Jaime-Vargas, J. A. (2024). El maíz amarillo como eje de la seguridad y soberanía alimentaria en México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 34(63), 1–26. <https://doi.org/10.24836/es.v34i63.1395>
- Lokapirnasari, W. P., Al Arif, M. A., Maslachah, L., Kirana, A. L. P., Suryandari, A., Yulianto, A. B., & Sherasiya, A. (2023). The potency of *Lactobacillus acidophilus* and *L. lactis* probiotics and *Guazuma ulmifolia* Lam. extract as feed additives with different application times to improve nutrient intake and feed efficiency in *Coturnix coturnix japonica* females. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 32(1), 59–67. <https://doi.org/10.22358/jafs/156018/2022>
- Lovela, A. R., Lokapirnasari, W. P., Al-Arif, M. A., Soeharsono, Hidanah, S., Warsito, S. H., Prasinta, R., Hapsari, T., & Andriani, A. (2023). The quality of Japanese Quail eggs after administration of *Bifidobacterium* sp. and *Guazuma ulmifolia* leaf extract. *Jurnal Medik Veteriner*, 6(1), 132–136. <https://doi.org/10.20473/jmv.vol6.iss1.2023.132-136>
- Luiselli-Fernández, C. (2020). La pandemia del Covid-19: los sistemas y la seguridad alimentaria en América Latina. *Economía UNAM*, 17(51), 168–179.
- Medina-Cardena, J., Rejón Ávila, M., & Valencia Heredia, E. (2012). Análisis de rentabilidad de la producción y venta de pollo en canal en el municipio de Acanceh, Yucatán, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 5(XVI), 909–919.
- Medina-Litardo, R., Cobos Mora, F., Lombeida García, E., & Hasang Moran, E. (2020). Evaluación de un sistema silvopastoril para la gestión sostenible de los recursos naturales de la Hacienda. *Journal of Science and Research*, 5, 79–95. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.4421986>
- Moreno, F. L. V., Ton, A. P. S., Rosa, C. M. G., & de Freitas, L. W. (2021). Uso de insectos como alternativa en la nutrición avícola: revisión. *Research, Society and Development*, 10(3), e25810313274-e25810313274.
- Orozco-Campos, R., Meleán Romero, R., & Rodríguez Medina, G. (2004). Costos de producción en la cría de pollos de engorde. *Revista Venezolana de Gerencia*, 9(28), 1–27. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29092806>
- Ortiz, A., Ingalls, F., Alonso, F., & Nuñez, J. (1997). Evaluación de la rentabilidad por incluir el 10 % de *G. ulmifolia* en la dieta de los pollos, permitió mejorar la ganancia económica por lo que los costos de producción fueron mejores.
- La inclusión de harina de *G. ulmifolia* se recomienda en no más de 10 % de acuerdo con los resultados obtenidos en la engorda de pollos hasta los 49 días de edad.
- productividad y la utilidad contable en pollo de engorda en México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, Supl. 1*, 659–661.
- Rodríguez, I., Osechas, D., & Torres, A. (2007). Respuesta de la harina de hojas de *Leucaena leucocephala* en la alimentación de pollos de engorde. *Agricultura Andina*, 71–78.
- Salazar Castillo, E. (2024). *Panorama anual del mercado cárnico de México 2023*. Consejo Mexicano de la carne. Recuperado de: <https://comecarne.org/panorama-anual-de-mercado-carnico-de-mexico-2023/>
- Santos, M., Lon-Wo, E., Savón, L., & Herrera, M. (2014). Comportamiento productivo de pollos cuello desnudo heterocigotos en pastoreo, con diferentes espacios vitales y harina de hojas de *Morus alba* en la ración. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(3), 265–269. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193032133010>
- SMN. (2024). *Servicio Meteorológico Nacional. Normales climatológicas*. Conagua. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
- Susanto, Winarno, E. K., & Winarno, H. (2020). Effect of gamma irradiation on Jati Belanda (*Guazuma ulmifolia* L) against human cancer cell lines. *AIP Conference Proceedings*, 2296, 1–5. <https://doi.org/10.1063/5.0030371>
- Téllez-Flores, J., & Vivas-Tórrez, J. (2008). *Manual de gallinas de patio* (J. A. Téllez Flores, Ed.; 1a ed.). Universidad Nacional Agraria.
- Tenías-Campos, J., Alfaro Escalona, M., Rivas Nichorzon, M., Cárdenas Ramírez, L., & Silva-Acuña, R. (2021). Características productivas en pollos de engorde utilizando harina de orégano como promotor de crecimiento. *ESPAMCIENCIA*, 12(2), 107–115. <https://doi.org/10.5>
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

Fin de la versión en español



EN

Homemade feed for poultry production in Tacotalpa, Tabasco

ES

Concentrados caseros para la producción avícola en Tacotalpa, Tabasco

Guadalupe Morales Valenzuela*

Universidad Intercultural del Estado de Tabasco, Cuerpo Académico: Desarrollo Regional. Carretera Oxolotán-Tacotalpa, km 1 s/n, Oxolotán, Tacotalpa, Tabasco, C.P. 86890. México.

***Corresponding author:**
gpemorales1974@gmail.
com, guadalupe.morales@
uiet.edu.mx ORCID ID:
0000-0003-4289-5415.

Received: April 7, 2025

Accepted: October 21, 2025

Published online:

December 3, 2025

Abstract

The purpose of this study was to formulate and evaluate the bromatological composition of three homemade mixtures on the productive performance of broiler chickens. This research was conducted at the facilities of the Universidad Intercultural del Estado de Tabasco. Three mixtures were prepared using maize (*Zea mays*), beans (*Phaseolus vulgaris*) meals, along with forage leaves (*Gliricidia sepium*, *Manihot esculenta* and *Cnidoscolus aconitifolius*). Bromatological analyses were performed in the laboratories for food chemical analysis of UNAM. The diets were provided to 48 Cobb 500® broilers during the starter, grower, and finisher phases of the fattening process. The experimental design was completely randomized, with three treatments, four replications, and four broilers per replication. The treatments were as follows: T0=100 % commercial feed, T1=100 % homemade feed and T2= a 50:50 mixture of homemade feed and commercial feed. Over six weeks, weight, feed intake, weight gain, and feed conversion ratio were recorded. Variance analysis was performed using SPSS® ver. 19. The bromatological analysis revealed that the starter, grower, and finisher formulation contained protein levels of 19.29, 15.58 and 13.25 %, respectively. During the first week, only feed intake showed significant differences among treatments. In the third week, all variables presented significant differences. However, when comparing the means, it was observed that the mixture had a performance similar to that of the commercial feed during the entire experiment. These results suggest that homemade feed is a viable alternative for broiler chicken feeding and their use could be further considered for native chicken breeds.

Keywords: Diet formulation, alternative diets, forage leaves, broilers.

Resumen

El propósito de este estudio fue formular y evaluar la composición bromatológica de tres concentrados caseros en los indicadores productivos de pollos de engorde. La investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Intercultural del Estado de Tabasco. Se elaboraron tres formulaciones con harinas de maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y hojas forrajeras (*Gliricidia sepium*, *Manihot esculenta* y *Cnidoscolus aconitifolius*). Se realizó un análisis bromatológico en los laboratorios de Análisis Químicos para Alimentos de la UNAM. Las raciones fueron suministradas a 48 pollos de la línea Cobb 500® en las fases de inicio, crecimiento y finalización del proceso de engorde. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, con tres tratamientos, cuatro repeticiones y cuatro aves por repetición. Los tratamientos consistieron en: T0=100 % de alimento comercial, T1=100 % de concentrado caseros y T2=mezcla de 50 % de concentrados caseros y 50 % de alimento comercial. Durante seis semanas, se registraron las variables de peso, consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia. Se realizó un análisis de varianza utilizando el programa SPSS® ver. 19. El análisis bromatológico reveló que las formulaciones de iniciador, desarrollador y finalizador contenían un porcentaje de proteína de 19.29, 15.58 y 13.25 %, respectivamente. Durante la primera semana, solo el consumo de alimento tuvo diferencias significativas entre tratamientos. En la tercera semana todas las variables presentaron diferencias significativas. Sin embargo, al comparar las medias, se observó que la mezcla mostró un comportamiento similar al alimento comercial a lo largo de todo el experimento. Se concluye que los concentrados caseros representan una opción viable para la alimentación de pollos de engorde y se puede explorar su uso en aves criollas.

Palabras clave: Formulación, alimentación alternativa, hojas forrajeras, pollos de engorde.

Introduction

Homemade feed for poultry provides multiple benefits for health and well-being of broilers, as well as for the sustainable development of poultry production practices. This practice uses local resources, ensures direct control over ingredient quality, and promotes adequate nutrition. Furthermore, it can represent an economic benefit for family producers.

The use of accessible resources within a community, such as forage plants, agricultural by-products, and other nutrient-rich ingredients, promotes a more efficient utilization of resources. For example, some studies have highlighted the potential of legumes and other crops to be used as feed concentrates in poultry diets (Gutiérrez Castro & Güechá Castillo, 2016).

One of the main advantages of producing homemade feed diets is the ability to directly control ingredient quality. Concerns about the presence of unknown chemicals and industrial processes in commercial feed have led many producers to use homemade preparations. This practice is particularly relevant given the potential risks of biological contamination, such as the introduction of pathogens like *Salmonella*, which may be present in commercial feed concentrates (Barrientos et al., 2018). Homemade diets ensure the use of fresh and high-quality ingredients, thereby reducing the risk of disease in poultry.

Furthermore, the preparation of homemade feed concentrates allows the diet to be adapted according to the specific growth and developmental needs of the broilers. Marrugo-Ligardo et al. (2016) note that the inclusion of plant-based protein sources, such as legume flours, the diet can improve performance and digestibility. Rubio & Molina (2016) indicate that grain legumes can partially or fully replace traditional animal-based protein sources, such as meat, bone, or fish meal, in animal feed diets, and represent a viable alternative to soybean meal and other oilseeds.

Several studies have shown that utilizing greater biodiversity in poultry diets can improve the health and welfare of native broilers, while also providing a viable and economical alternative (Pérez-Ramírez et al., 2024; Hotúa-López et al., 2021). In this context, other research has demonstrated that mixtures of forages flours, such as Mexican lilac (*Gliricidia sepium*), can influence egg and meat production in dual-purpose poultry (Salvador-Bonilla, 2017).

Finally, homemade feed represents an economical strategy in poultry production, as dependence on commercial feed concentrates often involves high

Introducción

Los concentrados caseros para la alimentación de aves presentan múltiples beneficios para la salud y el bienestar de las aves, así como para el desarrollo sostenible de las prácticas avícolas. Se aprovechan los recursos locales, se tiene control directo sobre la calidad de los ingredientes utilizados y finalmente se promueve una nutrición adecuada. Adicionalmente, puede representar un ahorro en la economía familiar.

La utilización de recursos accesibles dentro de la comunidad, como plantas forrajeras, subproductos agrícolas y otros ingredientes nutritivos, promueve un uso más eficiente de los recursos. Por ejemplo, algunos estudios han mostrado el potencial de las leguminosas y otros cultivos para ser empleados como concentrados en la alimentación de aves (Gutiérrez Castro & Güechá Castillo, 2016).

Otra de las ventajas de elaborar concentrados caseros es el control directo sobre la calidad de los ingredientes utilizados. La preocupación por la presencia de productos químicos desconocidos y procesos industriales en los alimentos ha propiciado optar por preparaciones caseras. Esto es importante, considerando los riesgos de contaminación biológica, como la introducción de patógenos como *Salmonella* que pueden ocurrir en concentrados industriales (Barrientos et al., 2018). La elaboración de concentrados en casa garantiza que se utilicen ingredientes frescos y de calidad, reduciendo así el riesgo de enfermedades en las aves.

Por otra parte, la formulación de concentrados caseros permite personalizar la dieta según las necesidades específicas del desarrollo de las aves. Marrugo-Ligardo et al. (2016) señalan que la incorporación de fuentes proteicas vegetales, como las harinas de leguminosas en la dieta, puede mejorar el rendimiento y digestibilidad. Por su parte, Rubio & Molina (2016) mencionan que las leguminosas-grano pueden sustituir parcial o totalmente las fuentes de proteínas tradicionales, de origen animal, como carne, huesos o harina de pescado en los concentrados para animales, y representan una alternativa para las harinas de soya y otras oleaginosas.

Diversas investigaciones muestran que el aprovechamiento de una mayor biodiversidad en la alimentación puede mejorar la sanidad y bienestar de las aves criollas, al tiempo que proporciona una alternativa viable y económica (Pérez-Ramírez et al., 2024; Hotúa-López et al., 2021). En este sentido, otros estudios han demostrado que las mezclas de harinas de forrajes, como la de hoja de cocoite (*Gliricidia sepium*) influye en la producción de huevo y carne de aves de doble propósito (Salvador-Bonilla, 2017).

costs, especially in situations where inputs are imported (Uzcátegui Varela et al., 2020). The use of local raw materials, which may include backyard products, supports a circular and sustainable economy within communities (Mosquera-Andrade et al., 2011). In areas of the municipality of Tacotalpan, edible leaf plants, locally known as “chayas” have been used to feed backyard poultry (Morales-Valenzuela, 2021).

In summary, the preparation of homemade feed for domestic poultry enhances food quality and safety, optimizes nutrition, reduces costs, promotes animal welfare, and supports sustainability by local resources. Implementing these practices provides significant benefits for both poultry producers and the environment in which they work. Therefore, the purpose of the present study was to formulate three homemade feed mixtures, evaluate their bromatological composition, and assess their impact on the productive performance of broilers.

Materials and Methods

The study was conducted in the Agroecology Practice Area and the Agroindustry and Agroecology laboratories at the Universidad Intercultural del Estado de Tabasco, located at km 1 Oxolotán - Tacotalpa road in Oxolotán, Tacotalpa, Tabasco.

Three feed mixtures (starter, grower, and finisher) were prepared, taking into account the nutritional requirements established by the National Research Council (NRC, 1994) for broilers, using the Zootec 3.0 program. This software allows for the design of cost-minimized formulations and provides approximate nutritional information for the ration, based on the Linear Programming (LP) technique implemented through the Solver add-in in Microsoft Excel®.

The feed mixtures were composed of maize (*Zea mays*) flour, bean (*Phaseolus vulgaris*) flour, chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*) leaves, Mexican lilac (*Gliricida sepium*), cassava root and leaves (*Manihot esculenta*), fish meal, common salt, mineral salt and sugar, in varying proportions (Table 1).

A 300 g sample was taken from each ration, and bromatological analyses were conducted at the Food Chemical Analysis Laboratories of the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Department of Animal Nutrition and Biochemistry, UNAM, following the procedures of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC).

The animal trial was conducted using a completely randomized design, with three treatments, four repli-

Finalmente, los concentrados caseros son una estrategia económica en la producción avícola, dado que la dependencia de alimentos concentrados industriales frecuentemente implica costos elevados, especialmente en situaciones donde los insumos son importados (Uzcátegui Varela et al., 2020). La utilización de materias primas locales, que pueden incluir productos del traspatio, fomenta una economía circular y sostenible dentro de las comunidades (Mosquera-Andrade et al., 2011). En localidades del municipio de Tacotalpa, se ha observado el uso de plantas de hojas comestibles, conocidas localmente como “chayas”, para la alimentación de aves de traspatio (Morales-Valenzuela, 2021).

En suma, la elaboración de concentrados caseros para la alimentación de aves domésticas mejora la calidad y seguridad alimentaria, optimiza la nutrición, reduce costos, favorece el bienestar animal y fomenta la sostenibilidad a través del uso de recursos locales. Implementar estas prácticas trae beneficios importantes tanto para los avicultores como para el entorno en el que operan. Considerando lo anterior, el propósito de este estudio fue formular y evaluar la composición bromatológica de tres concentrados caseros en los indicadores productivos de pollos de engorde.

Materiales y Métodos

El trabajo se llevó a cabo en el Área de Prácticas de Agroecología y los laboratorios de Agroindustrias y Agroecología de la Universidad Intercultural del Estado de Tabasco, ubicada en el km 1 de la carretera Oxolotán - Tacotalpa en el poblado Oxolotán, Tacotalpa, Tabasco.

Se elaboraron tres formulaciones (inicio, desarrollo y finalización) considerando los requerimientos nutricionales del Consejo Nacional de Investigación, NRC, por sus siglas en inglés (National Research Council (NRC), 1994) para pollos de engorde con el programa Zootec 3.0, el cual permite diseñar formulaciones de mínimo costo y conocer la información nutricional aproximada de la ración, basado en la técnica de Programación Lineal (PL) implementada en el complemento Solver de Microsoft Excel®.

Los concentrados estuvieron compuestos de harinas de maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), hojas de chaya (*Cnidoscolus aconitifolius*), hojas de cocoite (*Gliricida sepium*) raíz y hoja de yuca (*Manihot esculenta*), harina de pescado, sal común, sal mineral y azúcar, en diferentes proporciones (Cuadro 1).

Se extrajo una muestra de 300 g de cada ración y se realizaron los análisis bromatológicos en los Laboratorios de Análisis Químicos para Alimentos de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia del Departamento

Table 1. Percentage composition of ingredients in homemade feed formulations
Cuadro 1. Contenido de ingredientes en porcentaje de los concentrados caseros.

Ingredients / Ingredientes	Starter (%) (1-21 days) / Inicio (%) (1-21 días)	Grower (%) (22-33 days) / Crecimiento (%) (22-33 días)	Finisher (%) (33-46 days) / Finalización (%) (33-46 días)
Maize (<i>Zea Mays</i>) / Maíz (<i>Zea Mays</i>)	41	41	50
Beans (<i>Phaseolus vulgaris</i>) / Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	33	28	27
Chaya (<i>Cnidoscolus aconitifolius</i>) leaves / Hoja de chaya (<i>Cnidoscolus aconitifolius</i>)	7	12	8
Mexican lilac (<i>Gliricida sepium</i>) leaves / Hoja de cocoite (<i>Gliricida sepium</i>)	8	9	7
Fish meal 65 % / Harina de pescado 65 %	10	4	
Cassava (<i>Manihot esculenta</i>) root / Raíz de yuca (<i>Manihot esculenta</i>)		5	3
Cassava (<i>Manihot esculenta</i>) leaves / Hoja de yuca (<i>Manihot esculenta</i>)			4
Common salt / Sal común	0.5	0.5	0.5
Minerals salt / Sal mineral	0.5		
Sugar / Azúcar			0.5

cates per treatment, and four broilers per replicate. The treatments were as follows: T0: 100 % commercial feed (Alpesur®), T1: 100 % homemade feed and T2: a 50:50 mixture of homemade feed and commercial feed.

The broilers used were six-day-old Cobb 500® chicks with an average weight of 80.3 g. They were fed the starter feed for 12 days. Over six weeks, body weight, feed intake, weight gain, and feed conversion ratio were recorded. The data obtained were subjected to an ANOVA and mean comparison using Tukey’s test with SPSS® ver. 19.

Results

The estimated nutritional composition of the homemade feed using Zootec 3.0 differed from that obtained through bromatological analysis (Tables 2 and 3). For example, the protein content of the starter feed was estimated at 22.5 %, whereas the bromatological analysis indicated 19.29 %. It is important to note that the Zootec 3.0 uses calculation-based formulas that allow for estimating the nutritional composition of formulations based on the ingredient data.

According to the bromatological analysis and the corresponding estimates, the nutritional composition of the treatments (Table 3) contained typical and adequate levels for each growth phase of the broilers, as they closely aligned with the nutritional requirements for poultry established by the NRC (1994). The protein levels of the homemade feed formulation ranged from 13.25 and 19.29 %.

The analysis of variance showed that during the first two weeks, differences were observed only for feed

de Nutrición Animal y Bioquímica de la UNAM, con los procedimientos de la Asociación Científica Dedicada a la Excelencia Analítica (AOAC por sus siglas en inglés).

La prueba en animales se realizó bajo un diseño experimental completamente al azar, con tres tratamientos con cuatro repeticiones y cuatro aves por repetición. Los tratamientos consistieron en T0: 100 % alimento comercial (Alpesur®), T1: 100 % del concentrado casero y T2: mezcla de 50 % del concentrado casero y 50 % de alimento comercial.

Las aves utilizadas fueron polluelos de la línea Cobb 500® de seis días de nacidos con un peso promedio de 80.3 g. Se suministró durante 21 días la formulación de inicio, 12 días de desarrollo y 12 días de finalización. Durante seis semanas se registraron las variables de peso, consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia. Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y comparación de medias de Tukey con el programa SPSS® ver. 19.

Resultados

La composición nutricional estimada de los concentrados caseros con la plantilla de Zootec 3.0 fue diferente a la obtenida con el análisis bromatológico (Cuadros 2 y 3). Por ejemplo, en el contenido de proteína, para el concentrado de inicio se estimó un 22.5 %, sin embargo, el análisis bromatológico muestra 19.29 %. Es importante señalar que la plantilla Zootec 3.0 utiliza fórmulas basadas en modelos de cálculo que permiten estimar la composición nutricional de las formulaciones con base en datos de los ingredientes.

Table 2. Nutritional composition of homemade feed formulations as estimated by Zootec 3.0 compared with the results of bromatological analysis.**Cuadro 2. Composición nutricional de los concentrados caseros proporcionados por el programa Zootec 3.0 comparado con los resultados del análisis bromatológico.**

Parameters / Parametro	Zootec 3.0			Bromatological analysis Análisis bromatológico		
	Starter % / Inicio %	Grower % / Desarrollo %	Finisher % / Finalización %	Starter % / Inicio %	Grower % / Desarrollo %	Finisher % / Finalización %
M / H	7.58	7.35	8.50	6.14	7.25	8.22
CP / PC	22.50	19.44	16.33	19.29	15.58	13.25
EE	3.79	3.76	3.52	3.75	4.64	4.44
Ash / C	-	-	-	5.73	4.50	3.28
CF / FC	7.83	8.43	9.18	5.42	4.79	4.64
ELN	-	-	-	71.32	71.32	71.32

M= Moisture, CP= Crude protein, EE= Ether extract, CF= Crude fiber, NFE= Nitrogen-free extract.

M= Humedad, PC= Proteína Cruda, EE= Extracto Etéreo, C= Ceniza, FC= Fibra Cruda, ELN= Extracto Libre de Nitrógeno.

Nota: Elaboración propia.**Table 3. Nutritional composition of the treatments for each growth phase.****Cuadro 3. Composición nutricional de los tratamientos para cada etapa.**

Parameters / Parametros	Treatment 0 ^a			Treatment ^b			Treatment 0 ^a		
	Starter %/ Inicio %	Grower %/ Desarrollo %	Finisher %/ Finalización %	Starter %/ Inicio %	Grower %/ Desarrollo %	Finisher %/ Finalización %	Starter %/ Inicio %	Grower %/ Desarrollo %	Finisher %/ Finalización %
Moisture (%) / Humedad (%)	12	12	12	6.14	7.25	8.22	9.07	9.62	10.11
Crude protein (%) / Proteína cruda (%)	22	20	18	19.29	15.58	13.25	20.64	17.79	15.62
Ether extract (%) / Extracto etéreo (%)	3	4	5	3.75	4.64	4.44	3.37	4.32	4.72
Ash (%) / Ceniza (%)	7	6	7	5.73	4.50	3.28	6.36	5.25	5.14
Crude fiber (%) / Fibra cruda (%)	4	4	5	5.42	4.79	4.64	4.71	4.39	4.82
Nitrogen free extract (%) / Extracto libre de Nitrogeno (%)	52	54	53	71.32	71.32	71.32	61.66	62.66	62.16
Metabolizable energy (Kcal·kg ⁻¹) / Energía metabolizable (Kcal·kg ⁻¹)	3070	3110	3160	3650	3520	3360	3360	3315	3260

Source: Compiled by the author: ^awith nutritional information from the label, ^bbased on bromatological analysis, ^caverage between treatment 0 and treatment 1.**Fuente:** Elaboración propia: ^acon información nutricional de la etiqueta, ^bcon información del análisis bromatológico, ^cpromedio entre tratamiento 0 y 1.

intake, whereas for the third week onward, significant differences ($P < 0.05$) were observed for body weight, feed intake, weight gain, and feed conversion ratio (Table 4). This trend may suggest that during the initial weeks, the broilers were in an adaptation phase, in which feed intake can vary independently from other productive parameters.

De acuerdo con el análisis bromatológico y las estimaciones realizadas, la composición nutricional de los tratamientos (Cuadro 3) contenían los niveles típicos y adecuados para cada fase de crecimiento de los pollos de engorde, ya que se aproximan a los requerimientos nutricionales de las aves de corral establecidos por el NRC (1994). Los niveles

Table 4. Weekly averages of productive parameters of Cobb 500® broilers fed homemade feed formulations and commercial feed.
Cuadro 4. Promedio semanal de los parámetros productivos de pollos de la línea Cobb 500® alimentados con concentrados caseros y alimento comercial.

Parameter/Parámetro	Week 1/ Semana 1	Week 2/ Semana 2	Week 3/ Semana 3	Week 4/ Semana 4	Week 5/ Semana 5	Week 6/ Semana 6
Weight / Peso	123.75	238.21	442.88**	714.5**	1 076.38**	1 362.46**
Feed intake / Consumo	126.25**	314.1	454.7*	829.87*	1043.87	910.64*
Weight gain / Ganancia de peso	40.46	118.625	204.67*	271.63*	361.88*	286.08*
Feed conversion ratio / Conversión alimenticia	5.91	4.25	1.41*	1.47*	1.44*	3.66*

* = Significant ($P < 0.05$), ** = Highly significant ($P < 0.01$)
* = Significativo ($P < 0.05$), ** = Altamente significativo ($P < 0.01$)

Nota: Elaboración propia.

Regarding feed intake, as mentioned previously, the ANOVA showed significant differences during the first week, with a lower weekly intake observed for the homemade feed diet (112.75 g·chicken⁻¹), followed by the mixed feed (126.00 g·chicken⁻¹), and the highest intake recorded for the commercial feed (140.00 g·chicken⁻¹). In the third, fourth, and sixth weeks, the intake of the homemade concentrate was lower than that of both the mixed and commercial feed, which showed similar trends (Figure 1).

Body weight showed significant differences starting in the third week. The lowest weights were observed in broilers fed 100 % of the homemade concentrate, while the other two treatments showed similar trends, except in the final week, when higher weights were recorded in broilers fed the commercial feed (Figure 2).

Weight grain followed a pattern similar to that of body weight, with the lowest gain observed in birds fed with 100 % of the homemade concentrate. In addition, a decrease in weight gain was observed during the sixth week in the other treatments (Figure 3).

Feed conversion ratio showed irregular behavior, with no significant differences observed during the first, second, and fifth weeks. This may be attributed to the broilers' adaptation to the experimental conditions. Significant differences were observed in the third, fourth, and sixth weeks, where the homemade treatment showed the highest value, while the other treatments exhibited similar trends (Figure 4).

Discussion

The estimates obtained using Zootec 3.0 may not accurately reflect the nutritional composition of local or less common ingredients, which can vary considerably in their actual composition, as observed in the labo-

de proteína de los concentrados caseros estuvieron entre 13.25 y 19.29 %.

El análisis de varianza muestra que las primeras dos semanas solo hubo diferencias para el consumo de alimento y a partir de la tercera semana se muestran diferencias significativas ($P < 0.05$) para las variables de peso, consumo, ganancia de peso y conversión alimenticia (Cuadro 4). Esta tendencia puede sugerir que en las primeras semanas las aves estaban en una fase de adaptación, donde el consumo de alimento puede variar independientemente de otros factores productivos.

En cuanto al consumo, como se mencionó anteriormente, el análisis de varianza mostró diferencias significativas en la primera semana, en la que se observa un menor consumo semanal del concentrado casero con 112.75 g·ave⁻¹, seguido por la mezcla con 126.00 g·ave⁻¹ y un consumo superior del alimento comercial con 140.00 g·ave⁻¹. En la tercera, cuarta y sexta semana el consumo del concentrado casero fue inferior que el de la mezcla y del alimento comercial, los cuales tuvieron un comportamiento similar (Figura 1).

Por su parte el peso mostró diferencias significativas a partir de la tercera semana. El peso fue menor en aves alimentadas con 100 % del concentrado casero, los otros dos tratamientos tuvieron un comportamiento similar, excepto en la última semana en la que se observó mayor peso en las aves alimentadas con alimento comercial (Figura 2).

La ganancia de peso tuvo un comportamiento similar a la variable peso, ya que la menor ganancia fue en aves alimentadas con 100 % del concentrado casero, además se observó una disminución de la ganancia de peso en la semana seis en los otros tratamientos (Figura 3).

La conversión alimenticia se comportó de manera irregular, sin diferencias significativas para la primera,

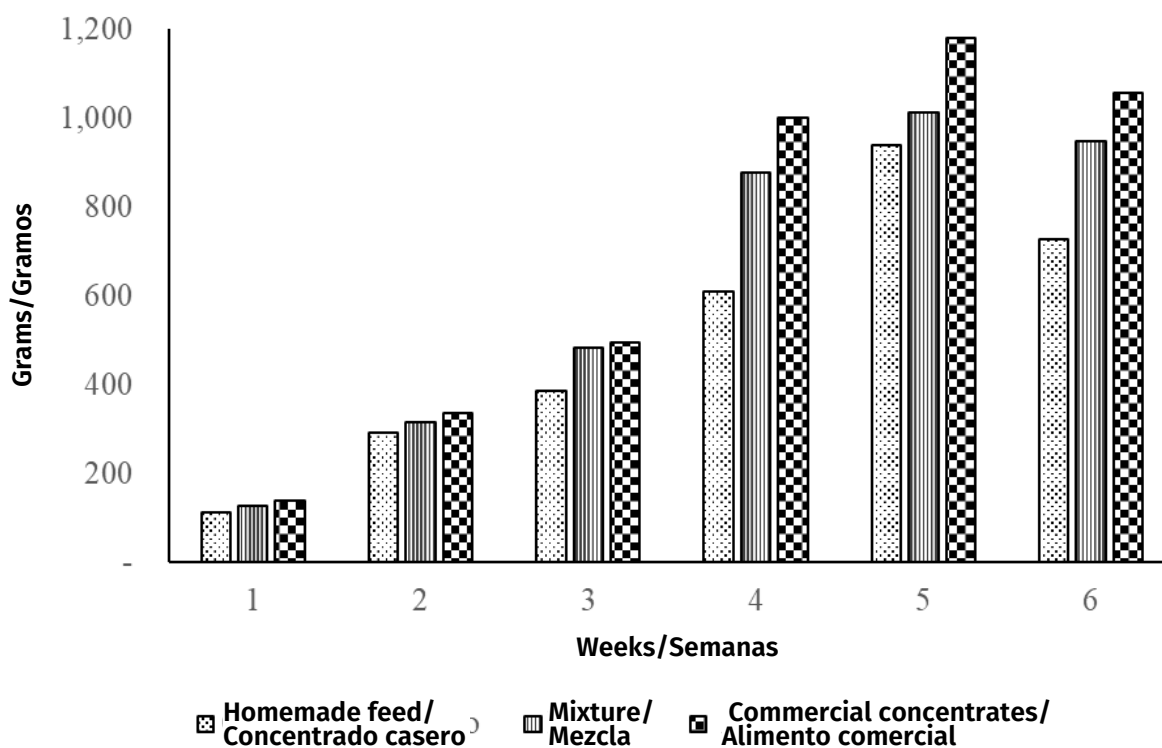


Figure 1. Weekly feed intake per treatment in Cobb 500® broilers fed homemade feed and commercial concentrates.

Figura 1. Consumo de alimento por semana, por tratamiento de pollos de la línea Cobb 500® alimentados con concentrados caseros y alimento comercial.

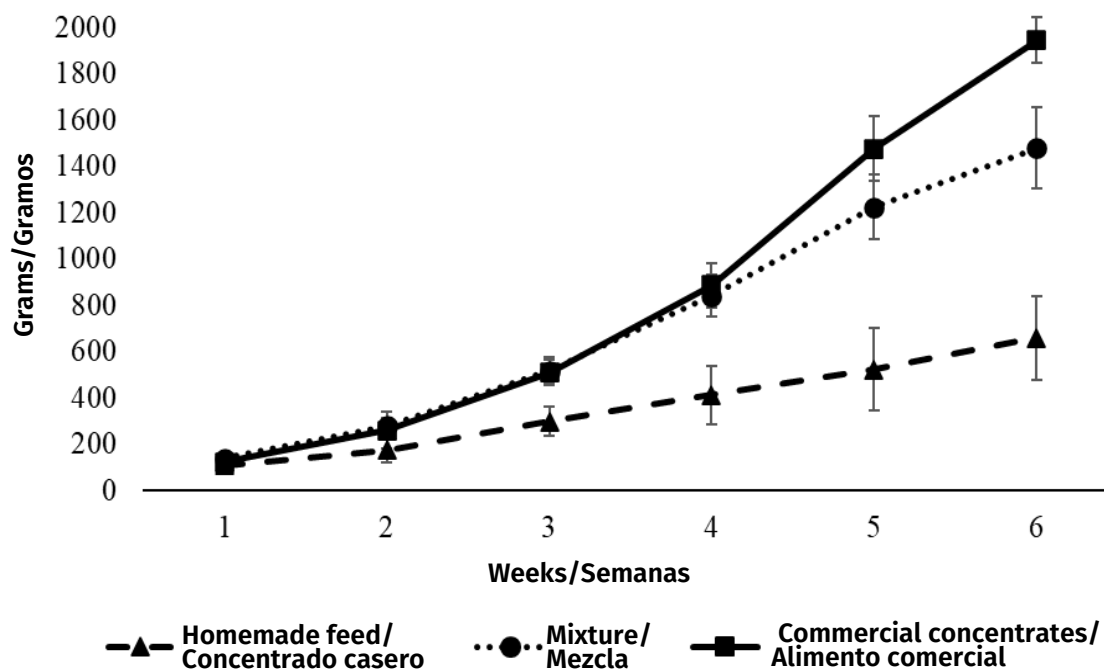


Figure 2. Weekly body weight per treatment in Cobb 500® broilers fed homemade feed and commercial concentrates.

Figura 2. Peso por semana y por tratamiento de pollos de la línea Cobb 500® alimentados con concentrados caseros y alimento comercial.

ratory analyses. In this case, approximate nutritional content values were used for some of the ingredients included. However, the use of specific and locally source data is crucial to obtain more precise estimates of nutrient levels (Abdel-Wareth & Lohakare, 2021).

The low feed intake observed during the initial stages can be explained by the broilers' adaptation process, as they were fed commercial feed during the first three days. Forbes (2007) indicates that broilers need an adaptation period of seven to ten days to accept new feed, particularly when these differ in particle size or composition. Similarly, Bessei (2006) notes that selective pecking is common in heterogeneous diets, which results in lower feed intake. It is also common to observe broilers' preference for known diets that have been previously associated with positive experiences (González-León et al., 2019).

The feed intake recorded in this study is consistent with findings reported in other studies. For instance, El-Deek et al. (2020) concluded that alternative protein sources in finishing diets have positive and sustainable effects on productive performance, as well as greater economic efficiency compared with diets containing only soybean meal. Biesek et al. (2022) indicated that nutritional strategies based on mixing feed with grains could be applied at inclusion levels of 10 to 25 %, since a 50 % inclusion showed a negative effect on broiler growth and production efficiency. However, in the present study, no differences in feed intake were observed between the mixed and commercial feed, except during the first week.

Based on weight gain, the use of a 50-50 % mixture of homemade feed and commercial concentrate can be recommended for all production stages of broiler rearing. In addition, the use of homemade concentrate can be suggested for native chickens, since, as noted by Paredes & Diaz (2023) replacing up to 40 % of commercial feed with maize for these broilers can improve final body weight, weight gain and feed conversion ratio. Furthermore, Pérez-Ramírez et al. (2024) note that native chickens are regularly fed maize and edible leaves.

The lower weight gain observed in chickens receiving homemade feed may be attributed to factors related to the nutritional quality of the diet. According to Gutiérrez-Castro & Hurtado Nery. (2019), the type and quality of ingredients used in diet formulation are key determinants of poultry performance. These authors also found that increasing the incorporation of *Tithonia diversifolia* leaf meal in the diet led to a weight gain reduction of up to 83 % as the level of addition of this ingredient increased.

segunda y quinta semana. Lo anterior puede ser debido al proceso de adaptación a las condiciones en el lugar del experimento. Se muestran diferencias en la tercera, cuarta y sexta semana, en las que el tratamiento de concentrado casero mostró los valores más altos y el resto de los tratamientos tuvieron comportamiento similar (Figura 4).

Discusión

Las estimaciones realizadas con Zootec 3.0 pueden no reflejar con precisión la composición nutricional de ingredientes locales o menos comunes, que pueden variar considerablemente en su composición real, tal como se observó en los análisis realizados en laboratorio. En este caso, se utilizaron valores aproximados de contenido nutricional de algunos ingredientes utilizados. Sin embargo, el uso de datos específicos y locales es crucial para obtener estimaciones más precisas de los niveles de nutrientes (Abdel-Wareth & Lohakare, 2021).

El bajo consumo de alimento en las etapas iniciales puede explicarse por el proceso de adaptación de las aves, ya que los primeros tres días se alimentaron con alimento comercial. Forbes (2007) señala que las aves requieren un período de adaptación de siete a diez días para aceptar nuevos alimentos, especialmente si difieren en tamaño de partícula o composición. Por su parte Bessei (2006) menciona que el picoteo selectivo es común en dietas heterogéneas, lo que representa un menor consumo. Es común observar la preferencia de las aves por alimentos que ya conocen y que han sido asociados con experiencias previas positivas (González-León et al., 2019).

El consumo registrado en esta investigación coincide con lo reportado en otros trabajos, por ejemplo, El-Deek et al. (2020) concluyen que los ingredientes alternativos de fuentes de proteína en las dietas de finalización para pollos de engorde tienen efectos positivos y sostenibles en el rendimiento productivo y una mayor eficiencia económica en comparación con las dietas que incluyen solo la harina de soya. Por su parte, Biesek et al. (2022) indican que las estrategias nutricionales basadas en la mezcla del alimento con granos podrían aplicarse a nivel de 10 a 25 %, ya que al 50 % observaron un efecto negativo en el crecimiento y eficiencia productiva de pollos de engorde. Sin embargo, en este estudio no hubo diferencias en el consumo entre la mezcla y el alimento comercial, con excepción de la primera semana.

Considerando la ganancia de peso, se puede recomendar el uso de la mezcla 50-50 % de concentrado casero con alimento comercial en cada etapa de producción de pollos de engorde y se puede sugerir el uso del concentrado casero en aves criollas, ya que, como

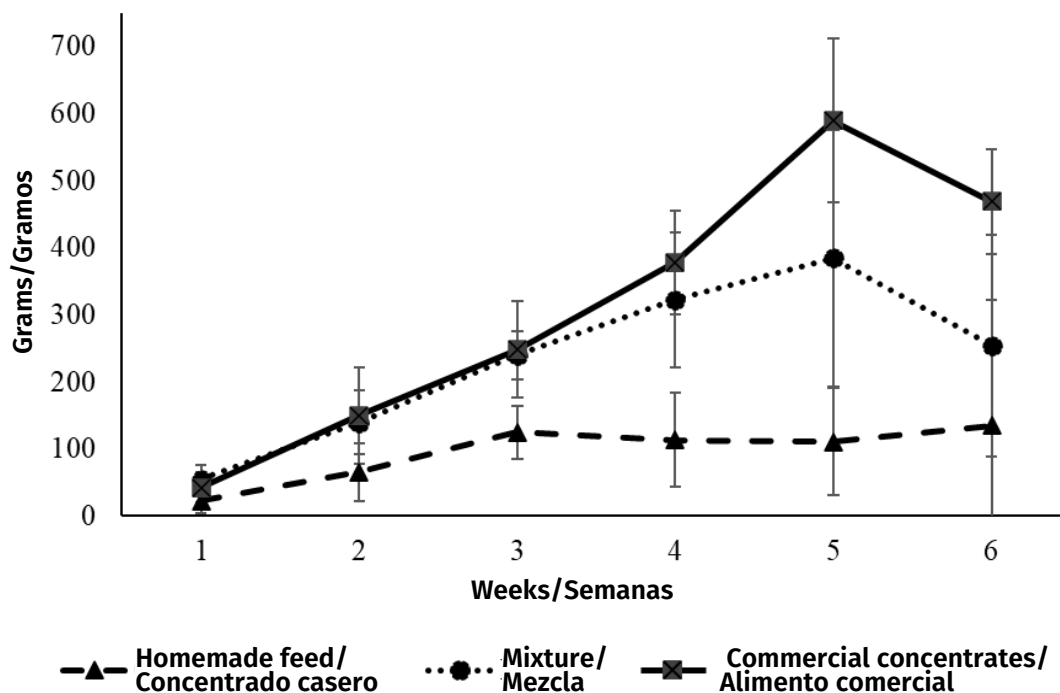


Figure 3. Weekly weight gain per treatment in Cobb 500® fed homemade feed and commercial concentrates.

Figura 3. Ganancia de peso por semana por tratamiento en pollos de la línea Cobb 500® alimentados con concentrados caseros y alimento comercial.

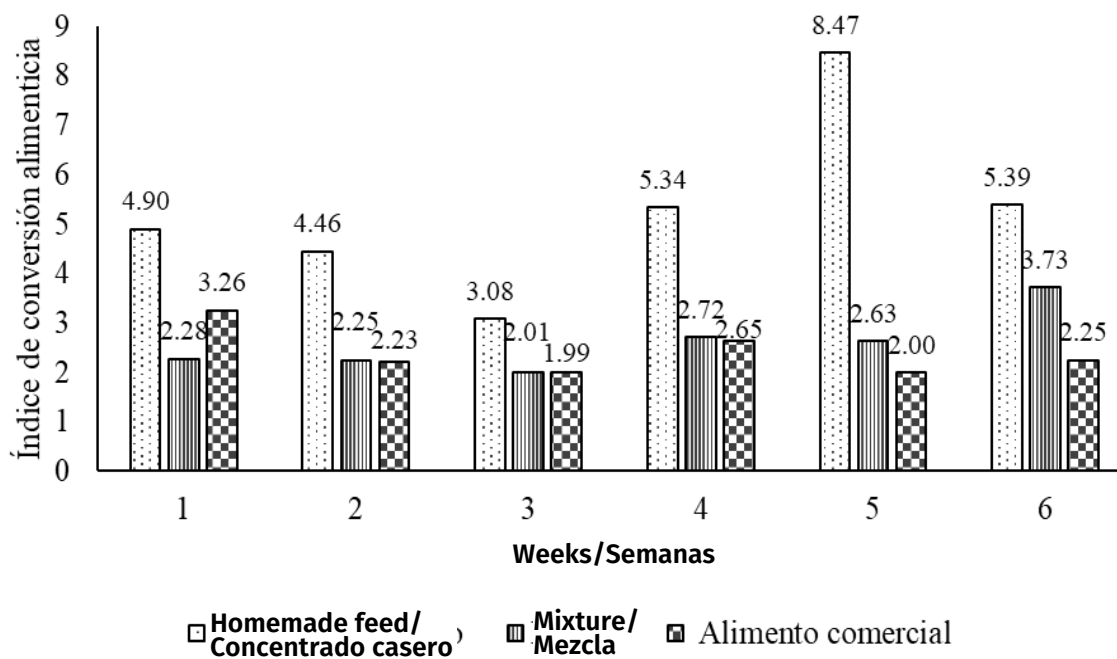


Figure 4. Weekly feed conversion ratio per treatment in Cobb 500® fed homemade feed and commercial concentrates.

Figura 4. Conversión alimenticia por semana por tratamiento de pollos de la línea Cobb 500® alimentados con concentrados caseros y alimento comercial.

Variability in feed conversion can be partially explained by the adaptation to diets based on alternative ingredients, which may differ in palatability and digestibility compared to traditional diets. This analysis suggests that the differences in feed conversion observed during specific weeks could be influenced by the quality and composition of the ingredients preset in the diets. In the case of cattle, in milk production systems using native and introduced grasses, Olarte-Hurtado et al. (2022), emphasize the animals' sensitivity to feeding and management conditions under new circumstances. Sossa-Fernández et al. (2020) show that the use of alternative ingredients can provide benefits to productive performance if their nutritional profile is optimized.

Conclusions

The nutritional estimates of the homemade concentrates were not entirely consistent with the results of the proximate analysis; however, they approximated the nutrient requirements of broilers at each production stage, highlighting the importance of knowing the composition of local feed ingredients.

The mixture of homemade feed with commercial concentrate and the commercial feed alone showed similar results. There are, a 50-50 % mixture of homemade feed and commercial concentrate is recommended for each stage of broiler production, and the use of homemade diets can also be considered for native chickens.

These results could contribute to advancing sustainable poultry production by enhancing feeding strategies and the formulation of diets

Acknowledges

The author thanks Osvaldo Gómez Juárez, Biochemical Engineering graduated from the Instituto Tecnológico de la Región Sierra, for his contribution to the field and laboratory work.

End of English version

References / Referencias

- Abdel-Wareth, A. A. A., & Lohakare, J. (2021). Moringa oleífera leaves as eco-friendly feed additive in diets of Hy-Line Brown hens during the late laying period. *Animals*, 11(4), 1116. <https://doi.org/10.3390/ani11041116>.
- Barrientos, I., Chamorro, I., Zambrano, C., Pérez, M., González, N., & Carrascal, A. K. (2018). Presencia de metales pesados y

menciona Paredes & Díaz (2023) la sustitución de hasta un 40 % de alimento comercial con maíz en aves criollas puede mejorar el peso final, la ganancia en peso y la conversión alimenticia. Además, Pérez-Ramírez et al. (2024) señalan que por lo regular las aves criollas son alimentadas por las familias rurales con maíz y mediante pastoreo en el que aprovechan diversas plantas forrajeras. Particularmente, Morales-Valenzuela (2021), en un trabajo realizado en Tacotalpa, Tabasco, señala que las aves de traspatio regularmente son alimentadas con maíz y hojas comestibles.

La menor ganancia de peso observada en las aves alimentadas con concentrado casero puede ser atribuida a factores relacionados con la calidad nutricional del alimento, ya que de acuerdo con Gutiérrez-Castro & Hurtado Nery. (2019), el tipo y la calidad de los ingredientes utilizados en la formulación de la dieta son determinantes clave en el rendimiento del pollo. Estos mismos autores encontraron que al aumentar la inclusión de harina de follaje de *Tithonia diversifolia* en la dieta, la ganancia de peso disminuyó hasta un 83 % con un incremento en el nivel de inclusión de este ingrediente.

La variabilidad en la conversión alimenticia se puede explicar en parte por la adaptación a dietas basadas en ingredientes alternativos, que pueden diferir en su palatabilidad y digestibilidad en comparación con dietas tradicionales. Este análisis sugiere que las diferencias en la conversión alimenticia observadas en semanas específicas podrían estar influenciadas por la calidad y composición de los ingredientes presentes en las dietas. En el caso de bovinos, en la producción de leche con alimentación a base de pastos nativos e introducidos, Olarte-Hurtado et al. (2022), subrayan la sensibilidad de los animales a las condiciones alimenticias y de manejo en nuevas circunstancias. Por su parte, Sossa-Fernández et al. (2020) evidencian que la inclusión de ingredientes alternativos puede traer beneficios en el rendimiento productivo si se optimiza su perfil nutricional.

Conclusiones

Las estimaciones nutricionales de los concentrados caseros no coincidieron con los resultados del análisis bromatológico, sin embargo, se aproximaron a las necesidades nutrimentales de pollos de engorde en cada etapa, por lo que es preciso conocer la composición de los alimentos locales.

La mezcla del concentrado casero con alimento comercial y el alimento comercial mostraron resultados similares. Por lo que se recomienda la mezcla 50-50 % de concentrado casero con alimento comercial en cada

- calidad microbiológica de concentrados para la alimentación porcina en cuatro regiones colombianas. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 29(3), 774-781. <https://doi.org/10.15381/rivep.v29i3.14772>.
- Bessei, W. (2006). Welfare of broilers: a review. *World's Poultry Science Journal*, 62(3), 455-466. doi:10.1017/S0043933906001085.
- Biesek, J., Banaszak, M., Właźlak, S., & Adamski, M. (2022). The effect of partial replacement of milled finisher feed with wheat grains on the production efficiency and meat quality in broiler chickens. *Poultry Science*, 101(5), 101817. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101817>.
- El-Deek, A.A., Abdel-Wareth, A.A.A., Osman, M., El-Shafey, M., Khalifah, A. M., Elkomy, A. E & Lohakare, J. (2020). Alternative feed ingredients in the finisher diets for sustainable broiler production. *Scientific Reports*, 10, 17743. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74950-9>.
- Forbes, J. (2007). Voluntary food intake and diet selection in farm animals: Second edition. AB International, Wallingford. 453 p.
- González-León, M., González-Cerón, F., Pro-Martínez, A., Sosa-Montes, E., Martínez-Martínez, U., & Rivas-Jacobo, M. (2019). Comportamiento productivo e indicadores de bienestar en pollos de engorda en pastoreo. *Agro Productividad*, 12(8). <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1448>.
- Gutiérrez Castro, L., & Güechá Castillo, A. Y. (2016). Harina de forrajes en la alimentación animal. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 7(2), 56-72. <https://doi.org/10.22579/22484817.688>
- Gutiérrez-Castro, L. L., & Hurtado-Nery, V. L. (2019). Uso de harina de follaje de *Tithonia diversifolia* en la alimentación de pollos de engorde. *Orinoquia*, 23(2). <https://doi.org/10.22579/20112629.569>.
- Hotúa-López, L. C., Cerón-Muñoz, M. F., Zaragoza-Martínez, M. de L., & Angulo-Arizala, J. (2021). Backyard poultry: contributions and opportunities for the peasant family. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 1019-1033. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74950-9>.
- Marrugo-Ligardo, Yesid A., Montero-Castillo, Piedad M., & Durán-Lengua, M. (2016). Nutritional Evaluation of Concentrated Protein of *Phaseolus lunatus* and *Vigna unguiculata*. *Información tecnológica*, 27(6), 107-114. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000600011>.
- Morales-Valenzuela, G. (2021). Avicultura de traspatio en Tacotalpa, Tabasco. En: Morales-Valenzuela, G., Padilla-Vega, J. y Vásquez-Dávila, M.A. Memoria biocultural de la selva. Universidad Intercultural del Estado de Tabasco y Red Temática Sobre el Patrimonio Biocultural de México-CONACYT. 73-83 pp
- Mosquera-Andrade, D., Escobar-Durán, R., & Moreno-Sánchez, A. M. (2011). Estructura y función de los huertos caseros de las comunidades afrodescendientes asentadas en la cuenca del río Atrato, departamento del Chocó, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 1(2), 91-97. <https://doi.org/10.18636/bioneotropical.v1i2.29>.
- NRC (National Research Council). (1994). Nutrient Requirements of Poultry, 9th revised ed.; National Academic Press: Washington, DC, USA. <https://doi.org/10.17226/2114>. 155 p.
- etapa de producción de pollos de engorde y considerar el uso del concentrado casero en aves criollas.
- Estos resultados pueden servir para promover la producción avícola sostenible mediante el mejoramiento de las estrategias de alimentación y formulación de dietas.

Agradecimientos

La autora agradece a Osvaldo Gómez Juárez, egresado de Ingeniería Bioquímica del Instituto Tecnológico de la Región Sierra, por el trabajo de campo y de laboratorio realizado.

Fin de la versión en español

- Olarte-Hurtado, I., Y., & Martínez-Tovar, R. A., & Motta-Delgado, P. A., & Herrera-Valencia, W., & Medina Mavesoy, E. Y., & Toledo, V. (2022). Efecto de la producción forrajera de pasturas nativas e introducidas sobre la producción de leche en la Amazonia Colombiana. *Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 14(1), 25-41. Disponible en: <https://portal.amelica.org/ameli/journal/513/5132773003/>.
- Paredes, M., & Díaz, M. (2023). Sustitución del pienso de finalización por maíz amarillo en pollos criollos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 34(1), e24612. <https://doi.org/10.15381/rivep.v34i1.24612>
- Pérez Ramírez, E., González Martínez, D., Díaz Ruiz, R., Escobedo Garrido, J. S., Contreras Ramos, J., & Améndola Massiotti, R. D. (2023). Avicultura de traspatio en las familias participantes del programa pesa (FAO) en Cuetzalan del Progreso, Puebla. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 21(1), 64-83. <https://doi.org/10.22231/asyd.v21i1.1595>.
- Rubio, L. A., & Molina, E. (2016). Las leguminosas en alimentación animal. *Arbor*, 192(779), a315. <https://doi.org/10.3989/arbor.2016.779n3005>.
- Salvador Bonilla, F. S. (2017). Concentrado artesanal: una alternativa para la alimentación de aves (*Gallus gallus domesticus*) en razas de doble propósito. *Producción Agropecuaria Y Desarrollo Sostenible*, 6, 57-71. <https://doi.org/10.5377/payds.v6i0.5719>.
- Sossa- Fernández, L. S., Higueta-Echeverri, P., Guerra- Marín, C. L., & Mosquera-Orozco, J. J. (2020). Inclusión de harina de *Trichanthera gigantea* y *Morus alba* en la alimentación de pollos de engorde. *Revista Universidad Católica de Oriente*, 31(46), 167-180. <https://doi.org/10.47286/01211463.324>.
- Uzcátegui Varela, J. P., Collazo Contreras, K., & Guillén Molina, E. (2020). Inclusión de *Vigna unguiculata* y *Musa spp.* para alimentación alternativa en pollos de engorde. *Agronomía Costarricense*, 44(2), 189-199. <https://doi.org/10.15517/rac.v44i2.43112>.

LA EDICIÓN DE ESTE NÚMERO
ESTUVO A CARGO DE LA
COORDINACIÓN DE REVISTAS
INSTITUCIONALES
DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

2025