



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](mailto: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**

Sacnité 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



Revista Chapingo Serie

**Agricultura Tropical**

# Índice

## **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

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

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

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

Rubén Manuel Zepeda Cancino, Verónica Vázquez García

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

Guadalupe Manzano Ocampo

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

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

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

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



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 Ocozocoautla–Villaflores, km 84.5, Apartado postal núm. 78. Villaflores, Chiapas. México. C.P. 30470

### Abstract

\*Corresponding author:

[francisco.guevara@unach.mx](mailto: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 (Méjico), 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

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 interrelated 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 sistemático 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 rastros, 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 inefficiencia. 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 11.12 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 mayz* 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 Villaflor, 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 mayz* 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**

<b>Types of agricultural producers / Tipos de productores</b>	<b>Presence of producers (%) / Presencia de productores (%)</b>	<b>Energy efficiency (MJ) / Eficiencia energética (MJ)</b>
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<sup>-1</sup> 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.

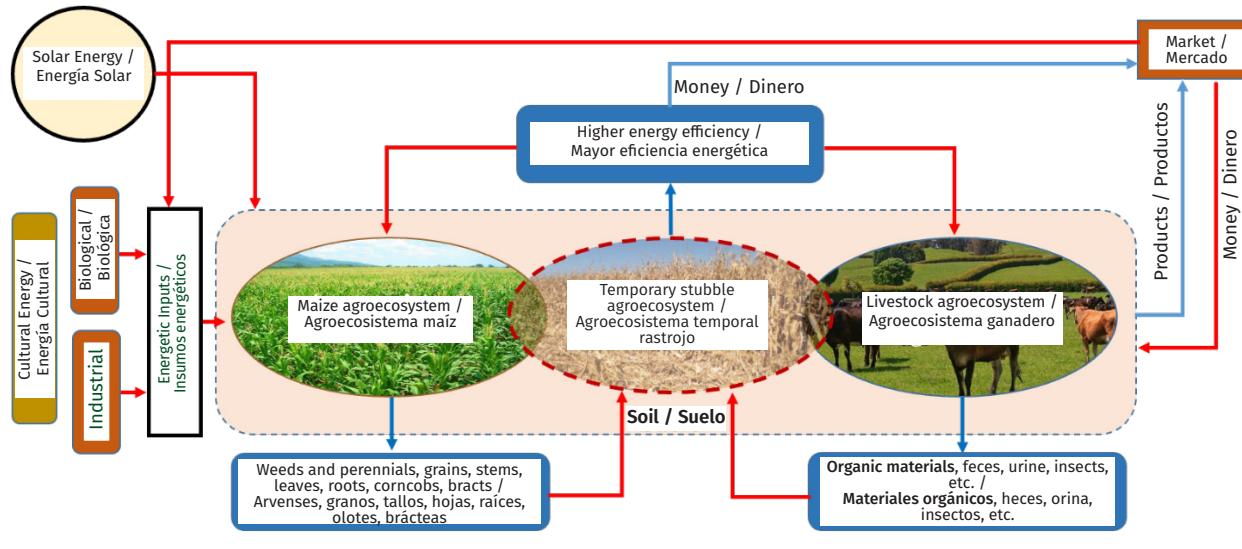
La diversificación de los sistemas de producción de maíz va más allá de una modalidad de producción, integrando factores generales y específicos en los enfoques y prácticas que los agricultores y ganaderos emplean para su subsistencia y desarrollo. Esto debe considerarse en los estudios, utilizando variables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

#### **Importancia del rastrojo en la ganadería**

En regiones con períodos 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 (corncob 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 arveses 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 totomoxtle (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, empacado 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.uday.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://rieoi.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 Villaflor (2023). MexicoPymes. [En línea]. Disponible en: <https://mexicopymes.com/info/asociacion-ganadera-local-de-villaflor-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., Alfnés, 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. *Información Técnica Económica 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 socioproductivas 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](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.co/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&tlang=en](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-86652019000100026&script=sci_arttext&tlang=en)
- Guevara, H. F., Hernández, R. M. A., Ortíz, 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-Laramendi, 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](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 rastros: soluciones diversas. In M. L. Reyes, V. T. C. Camacho, & H. F. Guevara (Eds.), *Rastros: 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\\_Rastros\\_manejo\\_uso\\_y\\_mercado\\_en\\_el\\_centro\\_y\\_sur\\_de\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/263011380_Rastros_manejo_uso_y_mercado_en_el_centro_y_sur_de_Mexico)
- Guevara-Hernández, F., Rodríguez-Laramendi, L. A., Hernández-Ramos, M. A., Fonseca-Flores, M. de los Á., Pinto-Ruiz, R., Reyes-Muro, L., Guevara-Hernández, F., Rodríguez-Laramendi, 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&tlang=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-09342015000801929&lng=es&nrm=iso&tlang=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., Diédihiou, 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), e2340Sp06-e2340Sp06. [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/https://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-Consegra, 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=S0257-4314201800020003&lng=es&nrm=iso&tlang=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0257-4314201800020003&lng=es&nrm=iso&tlang=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&tlang=pt](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-90282016000100009&script=sci_abstract&tlang=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](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/remexca.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://chiapaganado.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<sup>1\*</sup>; Ranulfo Cruz Aguilar<sup>1</sup>; Alberto Pérez Fernández<sup>2</sup>; Cindy Patricia Sánchez Montejo<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Universidad 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 m<sup>2</sup>. 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 traspasio 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 m<sup>2</sup>. 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*

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 agro-ecosystems 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 throu-

## 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 1100 to 1500 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 1164 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

species, 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 construidos funcionan como reservorios de la agrobiodiversidad de la región sur de la entidad.

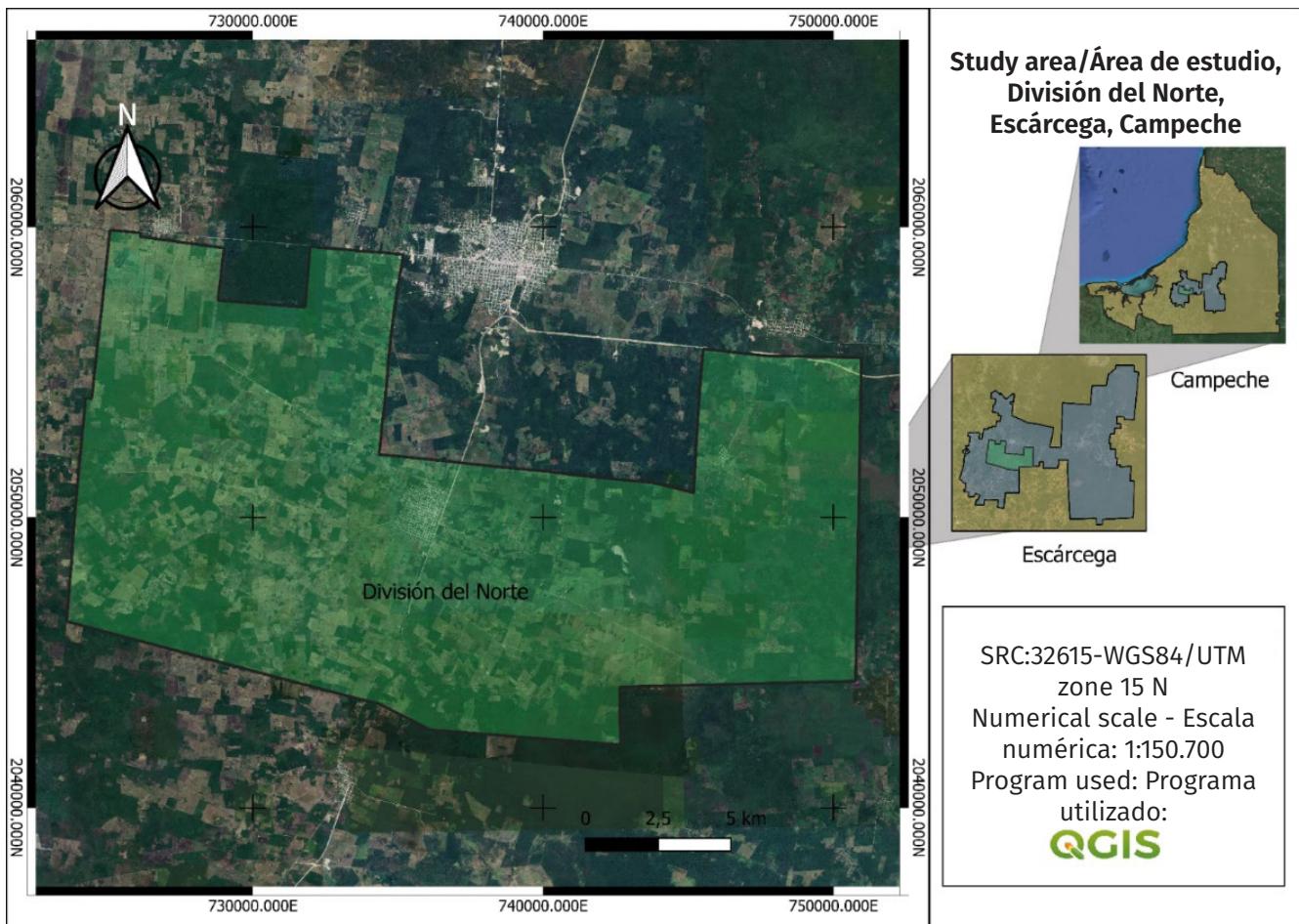
Otra aproximación de los huertos familiares es a partir de las características socioeconómicas, sobre todo en el enfoque de la soberanía alimentaria. Esto lleva a un análisis a partir de los campesinos o actores locales que le dan el manejo al huerto familiar. En un estudio realizado en San Andrés Nicolás 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 1100 y 1500 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 (*Micruurus 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 barbíblanco (*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 (*Micruurus 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](http://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](http://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:

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

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 huer-  
tos se tomó en cuenta la estructura vertical tomando  
en cuenta tres estratos (herbáceo, arbustivo y arbó-  
reo) (Chablé-Pascual et al., 2015).

### Índice de importancia cultural

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

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

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 distingos 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*, *traspatios*, or *huertos*.

### General characteristics of home gardens

The size of home gardens varies significantly in the study area, ranging from 10 to 2 000 m<sup>2</sup>. However, the most common size is 1 600 m<sup>2</sup>, 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 m<sup>2</sup>, 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 m<sup>2</sup> (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 m<sup>2</sup>.

### 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, traspatios 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 m<sup>2</sup>, sin embargo, el más común es el de 1 600 m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup> 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 menor 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 Monrroy-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), Lamaceae (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 Chembias and 88 species, 79 genera, and 45 families in Los Laureles, municipality of Campeche (Góngora-Chin et

proprietarios 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 m<sup>2</sup> (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 m<sup>2</sup>.

### **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 milii* 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 Monrroy-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 agría, 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.), Sircote (*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, buganvilla (*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 & Clemans), 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 traspacios de División del Norte, Campeche.**

Category use / Categoría de uso	Number of plant species/ Número de especies vegetales
Edible / Comestible	52
Medicinal / Medicinal	32
Beverages / Bebidas	27
Ornamental / Ornamental	7
Shade / Sombra	6
Religious / Religiosos	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 & Clemans), maguey 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, sircote, 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 sircote.

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, sircote, caoba, cedro, chacté viga y cinco de ellas se utilizan para leña; maculi (*Tabebuia rosea* (Bertol.) DC), caoba, cedro, chacté viga, y sircote.

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 agría (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 agría. (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 nutrimentales, 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 cultivares 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 pepperleaf/ 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, sircote, 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., & Llandleral-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](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 traspatios. Sin embargo, el índice de biodiversidad es bajo, lo que quiere decir que hay cierta uniformidad en las especies que se encuentran en los traspatios 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, sircote 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://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/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., Aliphant, 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](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., & Ascencio-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](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](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, [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-90282016000300379&lng=es&tln=es](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282016000300379&lng=es&tln=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-Ortíz, 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-Olgún, 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 traspasio 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 Ollintla, Puebla. *Revista Ra Ximhai*, 18(4 Especial), 263-289. [doi.org/10.35197/rx.18.04.2022.12.p](https://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.

## 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 corned 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 *ScientDirect*.

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 período 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 período 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 período 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 *ScientDirect*.

El período 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. Despues 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

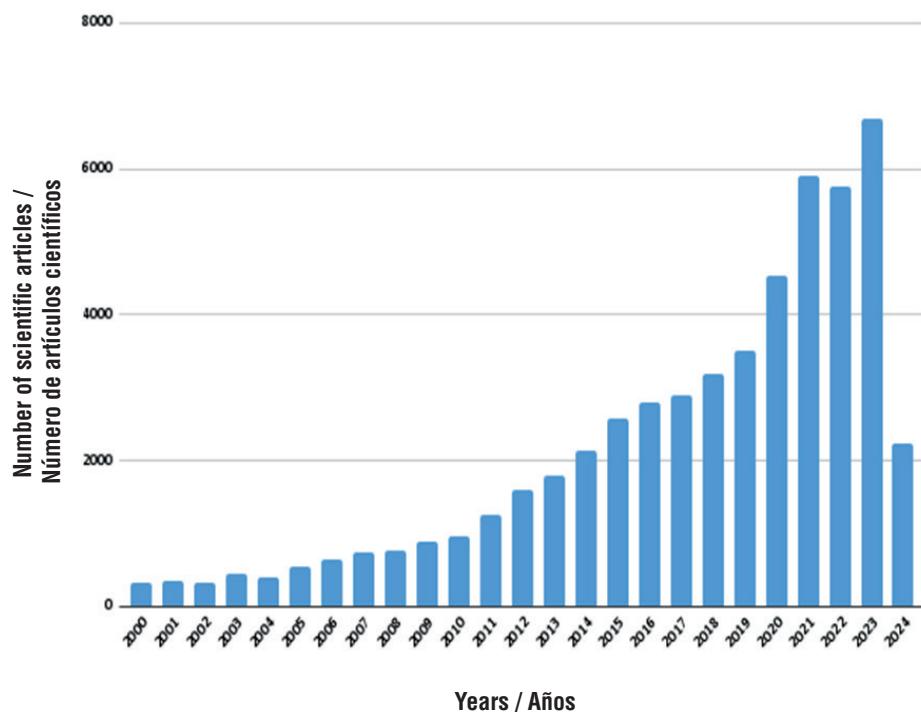
Figure 1 shows a fourfold increase in the number of specialized articles on the subject during the period in question. In addition, it is important to note that most of this production is in English with 52 223 papers, while only seven were in Spanish, 100 in French and two in German.

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 autoral, capacidad idiomática, productividad de artículos por año, categorías temáticas y colaboración autoral.

## 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.

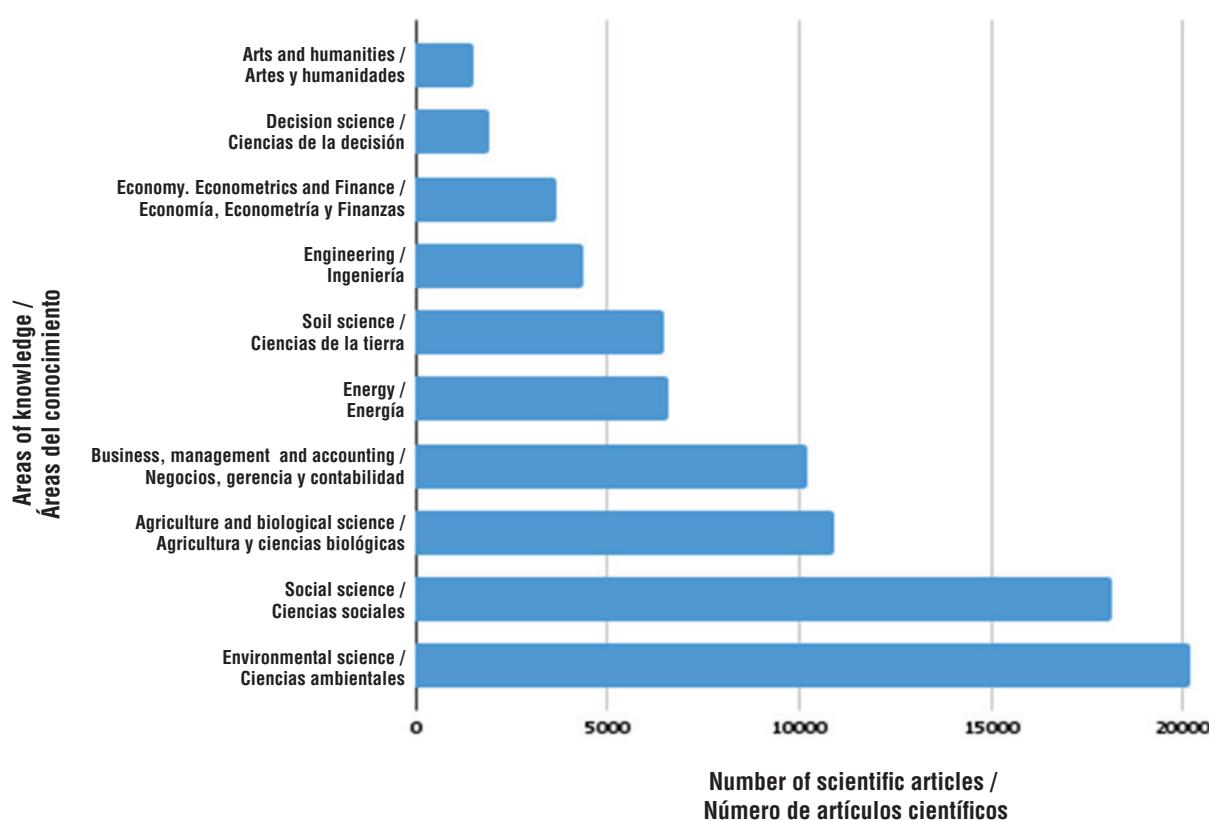
### a) Crecimiento en la productividad.

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  $\alpha$ -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.

### c) Productivity by author.

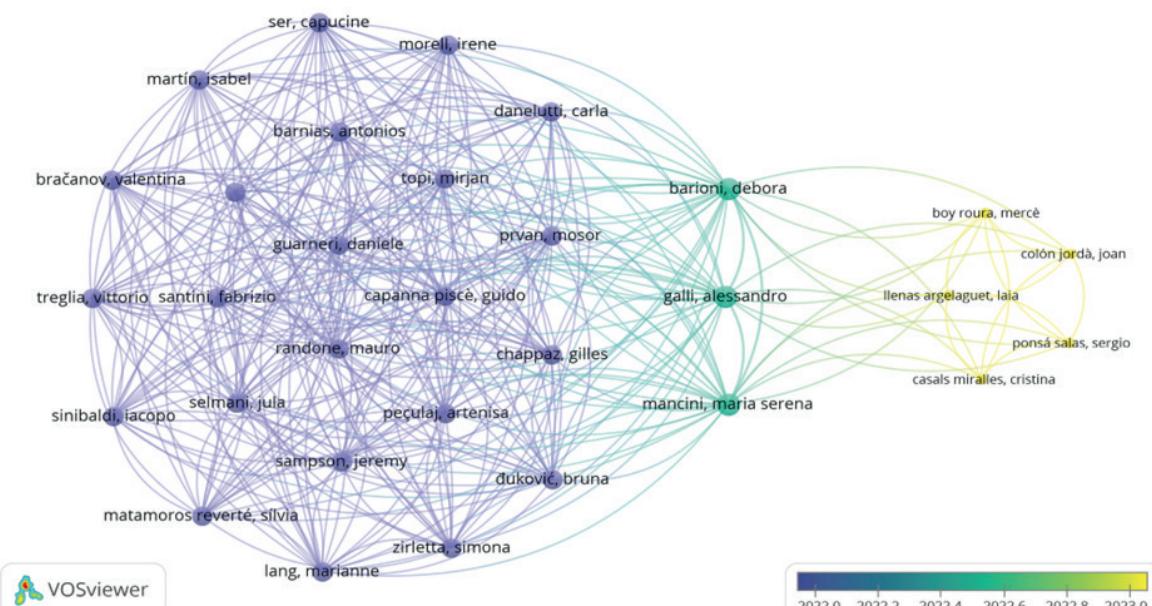
The analysis of authorial collaboration in the social sphere, illustrated in Figure 3 by nodes of different colors, reveals the presence of seventeen different clusters.

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  $\alpha$ -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 %

is essential for the synthesis of aromatic amino acids in plants, fungi, and bacteria.

Glyphosate has been widely studied and found to have low toxicity to mammals, birds, fish, insects and most bacteria (Geiger & Fuchs, 2001). However, there are concerns about its potential adverse effects on human health and the environment, including its link to certain morbidities and its impact on the microbiome, nutrient levels and cellular health (Feng et al., 2005).

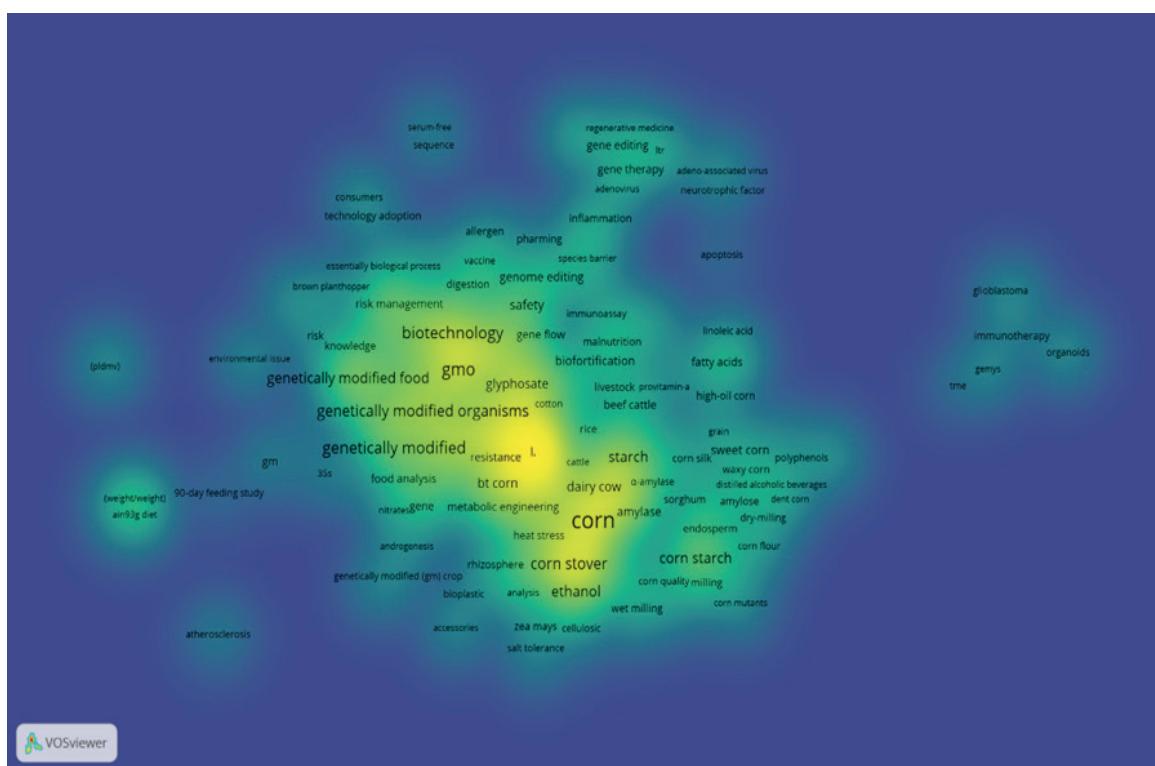
For example, the research by Saleem & Awan (2023) mentions studies linking glyphosate with follicular lymphoma, respiratory problems in female farmers, increased inflammatory markers in brain and plasma, and an increased risk of cancer in Brazil. Highlights the importance of regulating exposure to glyphosate to reduce associated diseases and suggests policies to protect the health of those working with glyphosate and prevent water source pollution.

Glyphosate is a herbicide commonly used in agriculture, and is related to genetically modified corn. Studies have shown that glyphosate residues can be found in genetically modified corn, with levels ranging from undetected to  $0.15 \text{ mg kg}^{-1}$  (Rodrigues et al., 2020).

#### d) Principales líneas de productividad.

El mapeo se utiliza para visualizar la densidad de términos en una red de coocurrencia de palabras clave o conceptos en los artículos científicos. Por ejemplo, en un mapa de términos clave en investigación, los términos más usuales o que aparecen juntos con mayor frecuencia están más densamente agrupados y pueden representarse con un tamaño o color más llamativo. En la Figura 4 se observa que las palabras que más aparecen en el análisis son glifosato, ganadería, etanol, rastrojo de maíz, almidón, biofortificación, biotecnología.

Respecto al glifosato existe una amplia discusión respecto a su uso y gestión en la agricultura. El glifosato es un herbicida y pesticida ampliamente utilizado que se introdujo por primera vez en 1974 (Franz et al., 1996). Es un compuesto organofosforado sintético que es inodoro e incoloro (Saleem & Awan, 2023). El glifosato es eficaz en el control de malezas y se utiliza en diversas aplicaciones como agricultura, silvicultura, céspedes y jardines. Es conocido por su actividad de amplio espectro y su capacidad para inhibir la enzima EPSP sintasa, la cual es esencial para la síntesis de aminoácidos aromáticos en plantas, hongos, y bacterias cita/s.



**Figure 4.** Keyword density mapping based on ScienceDirect data.

**Figura 4. Mapeo de la densidad de las palabras clave con base en datos de ScienceDirect.**

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).

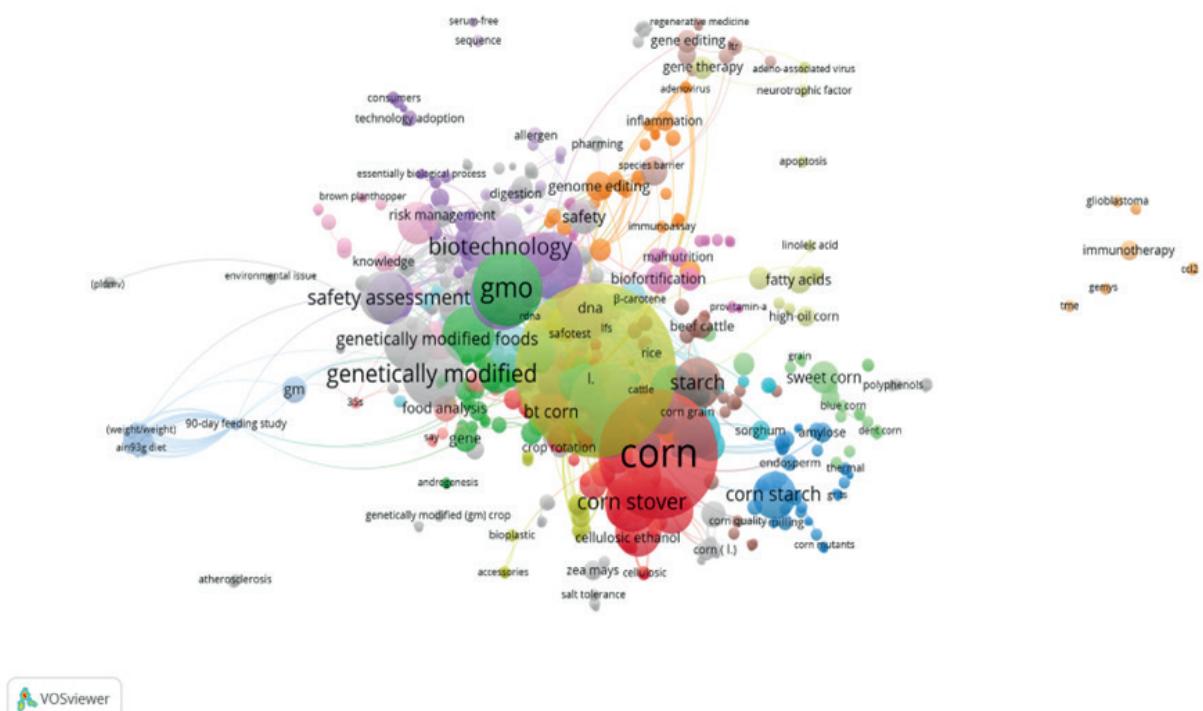
However, there is evidence to suggest that glyphosate and genetically modified corn may have negative effects on human health, including correlations with various diseases such as hypertension, diabetes, obesity and cancer (Swanson et al., Figure 5 presents a network that illustrates the interconnected 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  $0.15 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Rodrigues 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.**

This eases the identification of clusters, communities and patterns of relationships among the analyzed elements.

Figure 6 highlights the main trends and perspectives in the analysis of genetically modified corn from January 2000 to March 2024, including a focus on biotechnology, gene editing, digestibility, and Bt-corn. Bt-corn is a genetically modified organism (GMO) engineered to resist the European corn borer (*Ostrinia nubilalis*). It contains a protein produced by the *Bacillus thuringiensis* bacterium (Bt) that is toxic to insect larvae. This corn is used in agriculture to reduce damage caused by pests (Accinelli et al., 2018).

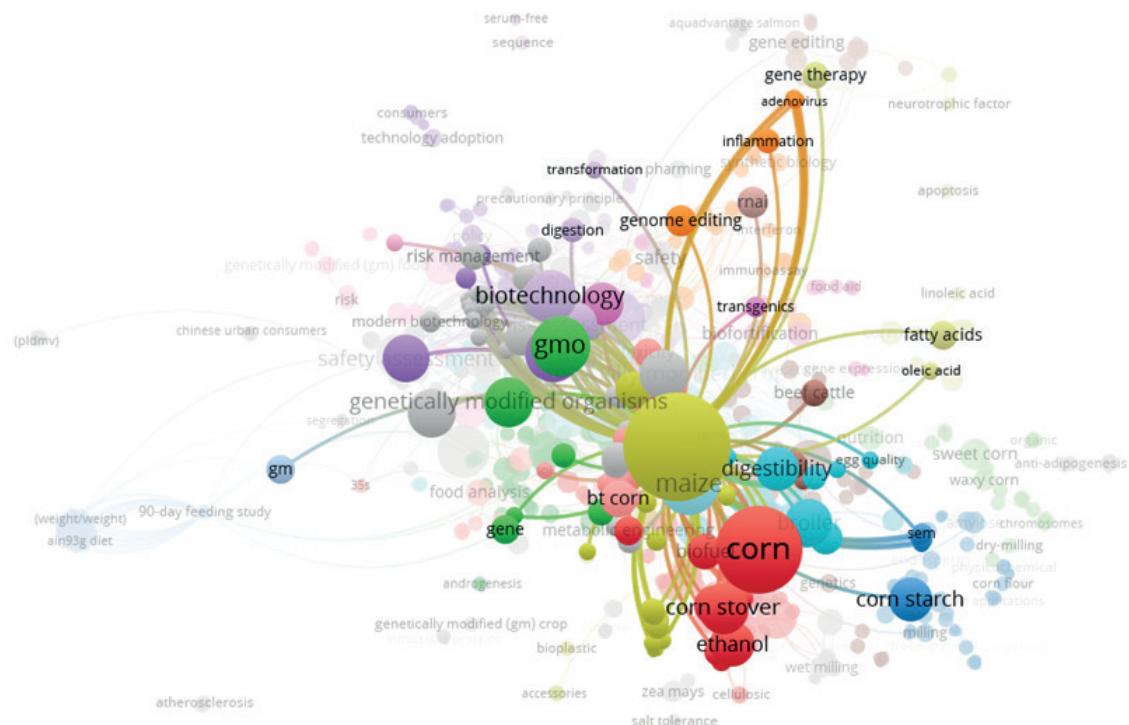
Biotechnology involves the use of biological processes in an industrial context, with the goal of addressing the diverse challenges facing humanity by harnessing the principles and knowledge about the mechanisms of living organisms. This field takes advantage of living organisms or their byproducts to achieve technological and industrial goals, such as improving food production, developing pharmaceuticals, and advancing agricultural practices (Heinzen et al., 2024).

Gene editing is a group of technologies which make it possible to change the DNA of an organism. One

Se ha encontrado que la inclusión de sorbentes arcillosos en suelos contaminados reduce la biodisponibilidad del glifosato y su metabolito AMPA en el maíz transgénico, lo que lleva a una reducción en sus efectos adversos sobre el crecimiento de las plantas (Wang et al., 2023). Se han desarrollado variedades de maíz transgénico que son tolerantes al glifosato, lo que permite el uso de sistemas basados en glifosato para el control de malezas en cultivos de maíz (Yadav et al., 2019).

No obstante, existe evidencia que sugiere que el glifosato y el maíz transgénico pueden tener efectos negativos en la salud humana, incluyendo correlaciones con diversas enfermedades como hipertensión, diabetes, obesidad y cáncer (Swanson et al., 2013). En la Figura 5 se presenta una red que ilustra la estructura interconectada de elementos, como términos, palabras clave o nodos, junto con sus relaciones mutuas. Esta representación visualiza un conjunto de nodos (que representan elementos individuales) y enlaces (que denotan relaciones entre estos elementos).

Los nodos pueden estar interconectados según diversos criterios, como la co-aparición en documentos científicos, la similitud de temas u otras relaciones definidas por los datos de entrada. La visualización de



**Figure 6.** Network mapping of cluster 1 keywords based on ScienceDirect data

**Figura 6. Mapeo de redes de las palabras clave clúster 1 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).

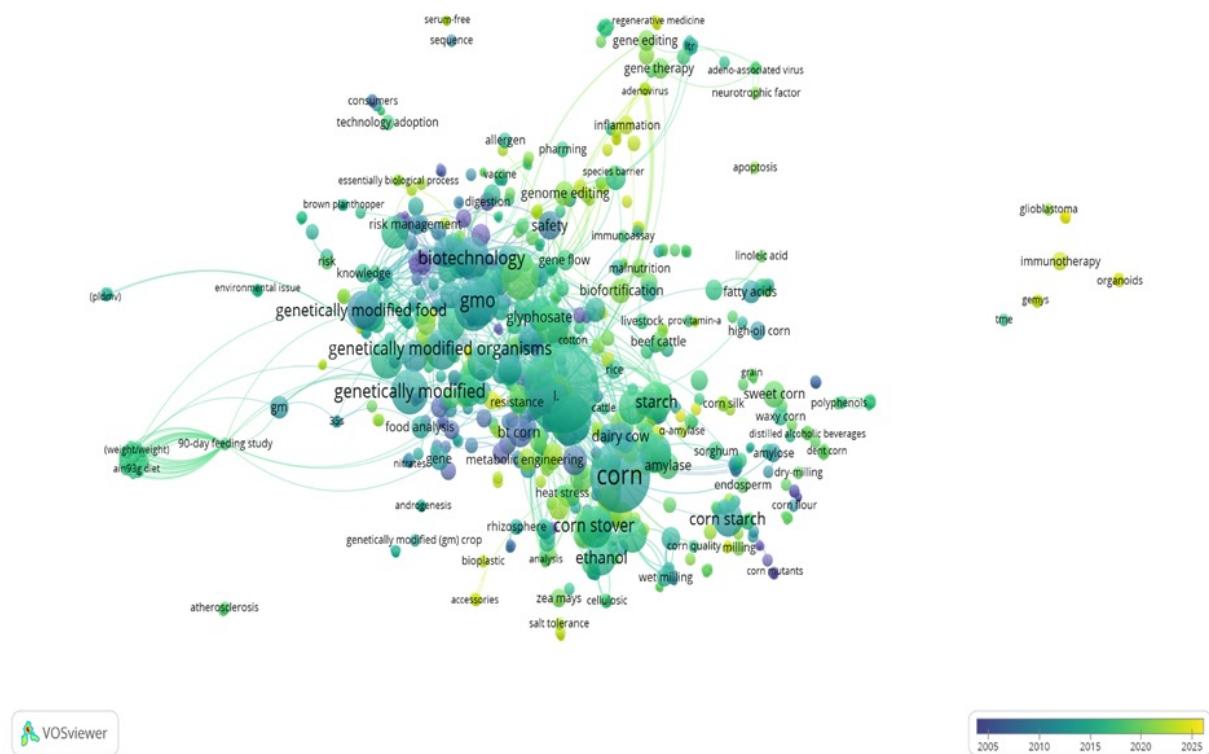
La biotecnología implica la utilización de procesos biológicos en un contexto industrial, con el objetivo de abordar los diversos desafíos a los que se enfrenta la humanidad mediante el aprovechamiento de los principios y conocimientos sobre los mecanismos de los organismos vivos. Este campo aprovecha 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,



**Figure 7. Visualization of the overlay from 2016 to 2024 based on *ScienceDirect* data**

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

While it focused on plant regeneration, it highlights the need to increase the efficiency of regeneration protocols in regenerative medicine research.

Immunotherapy is a treatment approach for allergic diseases that involves the administration of allergens to induce immune tolerance. It has been shown to be effective in controlling pollen allergies, such as Japanese cedar pollinosis (Fukuda et al., 2018). Transgenic rice and corn have been used as oral immunotherapy platforms, where plants are engineered to express allergenic proteins. (Yuki et al., 2009).

Bioplastics, which are plastics made from biomass sources such as corn, have been studied extensively in relation to their properties, applications and environmental benefits (Accinelli et al., 2018). PHB (polyhydroxybutyrate) production in genetically modified corn involves the transfer of relevant bacterial genes into the plant, allowing it to produce the biopolymer (Sharjeel et al . , 2020). This approach offers the potential for plant-based production of bioplastics, including PHB, which can partially replace petroleum-based plastics and have other advantages such as biodegradability. Therefore, there is a relationship between bioplastics and transgenic corn,

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.

La medicina regenerativa es un campo científico que se enfoca en reparar y reemplazar células, tejidos y órganos para restaurar su función normal. Implica el uso de células madre, ingeniería tisular y terapia gé-

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 biológica, 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 sharped 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/10.57721/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](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](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](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., Hernandes-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](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<sup>1,2</sup>; Martin Miguel Dade<sup>1,2</sup>; Jenny Jovana Chaparro-Gutiérrez<sup>3</sup>; Dora Romero Salas<sup>4</sup>; Roger Iván Rodríguez-Vivas<sup>5\*</sup>

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

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

<sup>3</sup>Universidad 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.

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

<sup>5</sup> FMVZ- 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.uday.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<sup>-1</sup>. 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 inefficiencia 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<sup>-1</sup>. 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, parasiticidas, 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 (Choe Choe, 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 (Choe Choe, 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 muestrados	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 / Clinica veterinaria	5	35
San Luis	Rural area / Zona rural	4	37
	Veterinary hospital / Hospital veterinario	6	34
	Veterinary clinic / Clinica 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 fotoperíodo (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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> (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<sup>-1</sup> (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 larvical 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>. La CL50 más baja fue de 2.10 mg·mL<sup>-1</sup> (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% ( $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ ), slope, and 95% confidence interval of eugenol in *R. sanguineus* s.s. larvae from three different provinces of Argentina.**Cuadro 2.** Concentración letal 50% ( $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ ), 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 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ *	CI95 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$	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

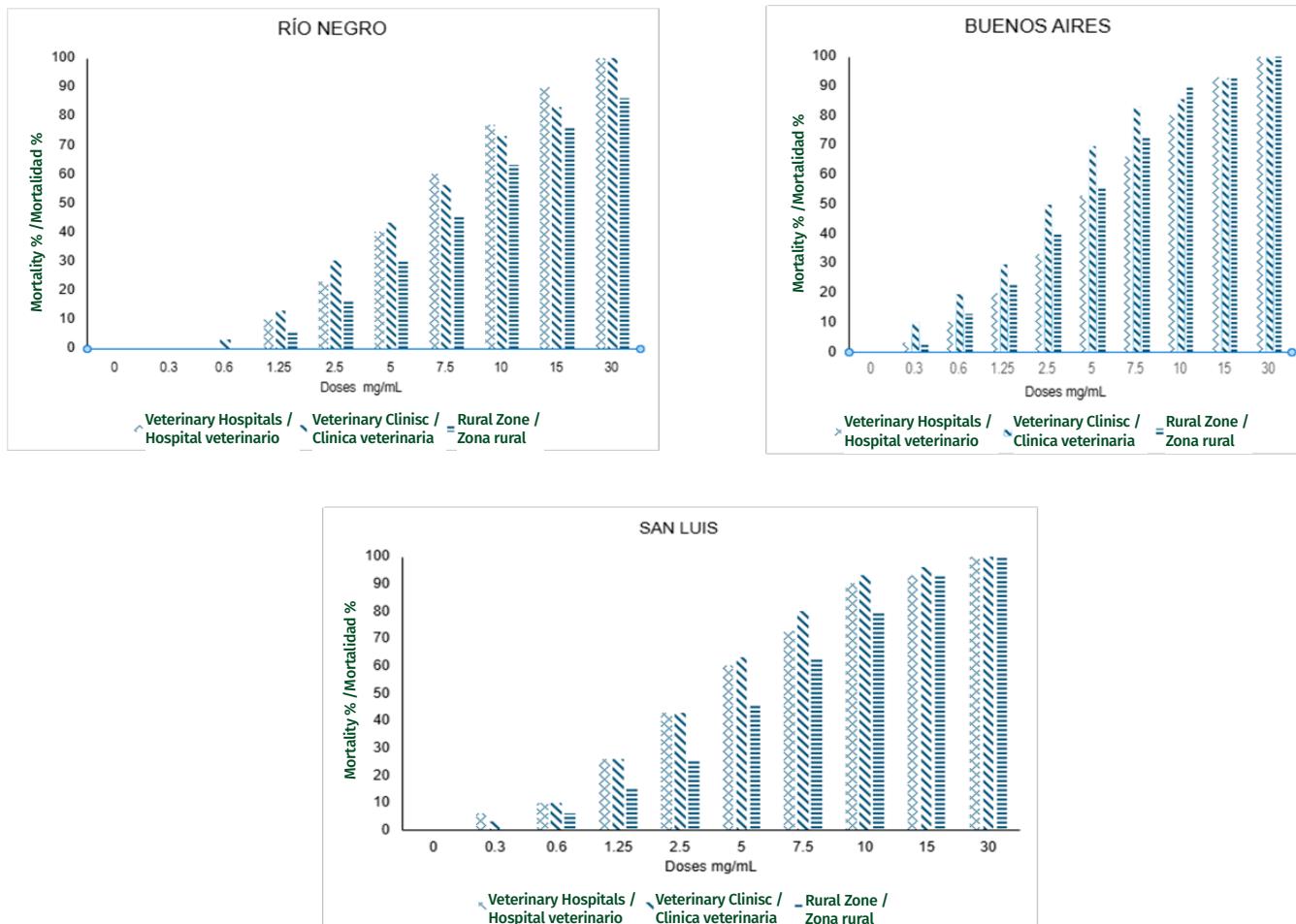
study showed 100 % of mortality of *R. microplus* and *Dermacentor nitens* larvae using a dose of  $5.0 \mu\text{l}\cdot\text{mL}^{-1}$  of eugenol (Monteiro et al., 2012). In Brazil, *R. sanguineus* s.l. larvicidal efficacy was reported between 64 and 95 % using doses of 5 and  $10 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$  of eugenol (Coehlo et al., 2020). In the present study, eugenol concentration of  $3.20\text{-}7.71 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$  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  $7.71 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$  (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 larvicia 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  $5.0 \mu\text{l}\cdot\text{mL}^{-1}$  de eugenol (Monteiro et al., 2012). En Brasil, se reportó una eficacia larvicia de *R. sanguineus* s.s. entre 64 y 95 % con dosis de 5 y  $10 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$  de eugenol (Coehlo et al., 2020). En el presente estudio, una concentración de eugenol de  $3.20\text{-}7.71 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$  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<sup>-1</sup>).

*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., Zeringóta, 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., Mascarin, 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 in algunas poblaciones 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<sup>-1</sup>).
- ## 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., Telmadarrai, 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.A.V.P.) second edition: guidelines for evaluating the efficacy of parasiticides 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-Botero 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. [10.1186/s13071-019-3377-z](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. [10.1007/s00436-013-3434-z](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-Arroyo<sup>1</sup>; Judith Martínez-Atencia<sup>\*2</sup>; Juan Linares-Arias<sup>1</sup>; Jeyson Garrido-Pineda<sup>2</sup>; José Contreras-Santos<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Corporación 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 fisicoquímicas 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 Opisthopora, 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; Viloria, 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 fisicoquímicas 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; Viloria, 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.

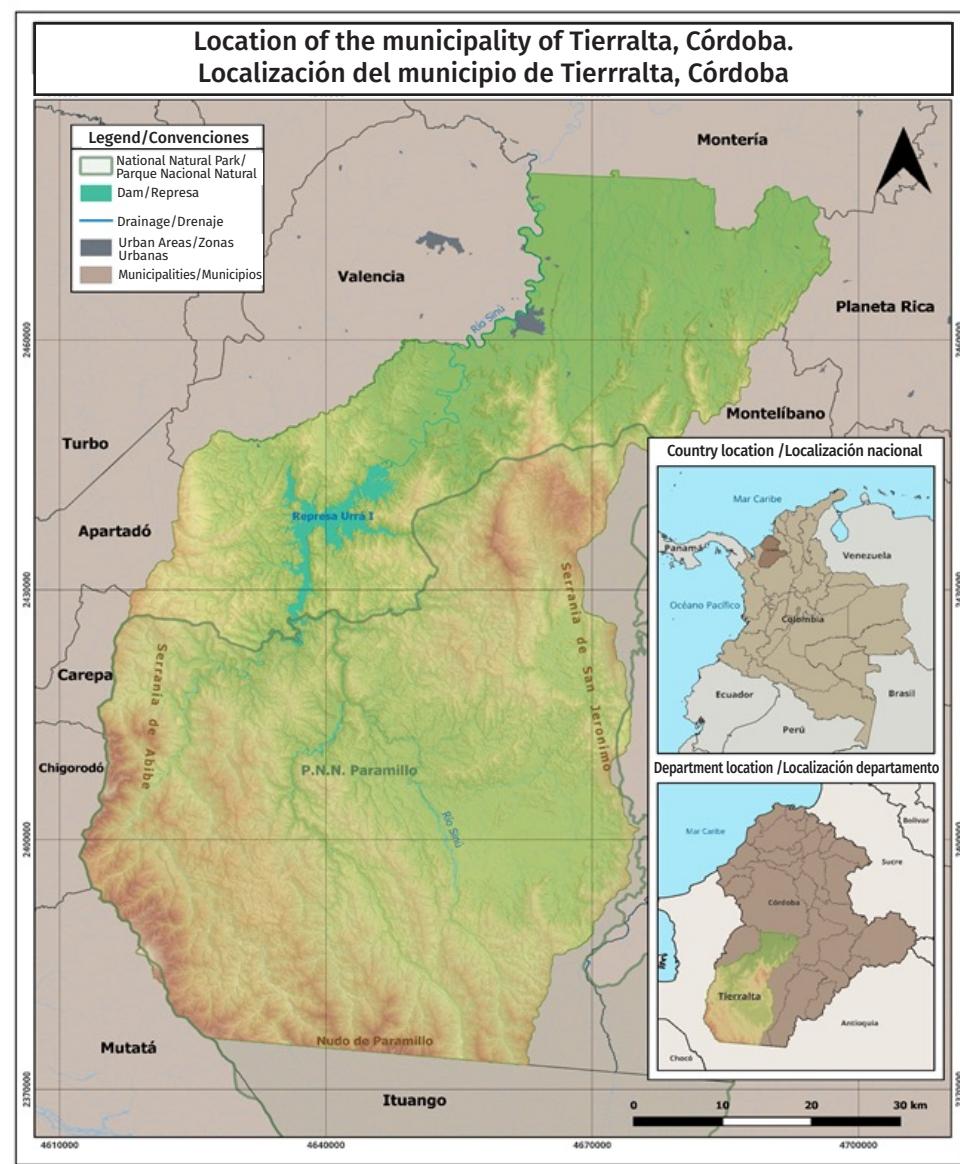
## Materiales y métodos

### 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 fisicoquímicas 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 cm<sup>2</sup> 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).  $\beta$  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: Opisthopora (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, Stylommatophora, 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 muestras se desarrollaron en dos períodos 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 cm<sup>2</sup> 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  $\beta$  se calculó mediante el índice de similaridad 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·m<sup>2</sup>) 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·m<sup>2</sup>) de macrofauna edáfica por rango de edades de las fincas productoras de *T. cacao* bajo SAF.**

Soil macrofauna / Macrofauna edáfica			SAF's years range / Rango de edades de los SAF		
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
	Sympyla	Sympyla	29	54	71
	Diplopoda	Julida	29	4	21
		Polydesmida	300	396	200
		Polyxenida	4	8	8
		Spirobolida	0	4	0
	Diplura	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

stry 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, Sympyla, 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-

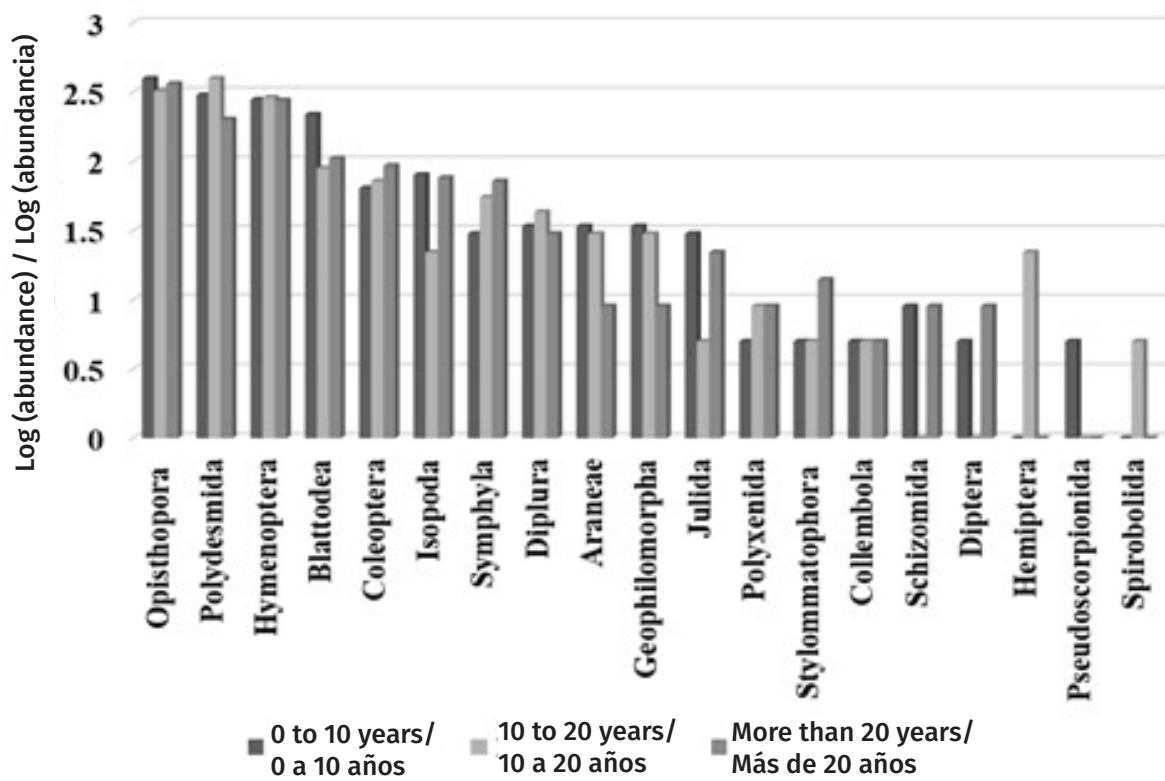


Figure 2. Soil macrofauna density according to farm years range in *T. cacao*-producing farms under agroforestry systems.

Figura 2. Densidad de la macrofauna edáfica por rango de edades de las fincas productoras de *T. cacao* bajo sistemas agroforestales.

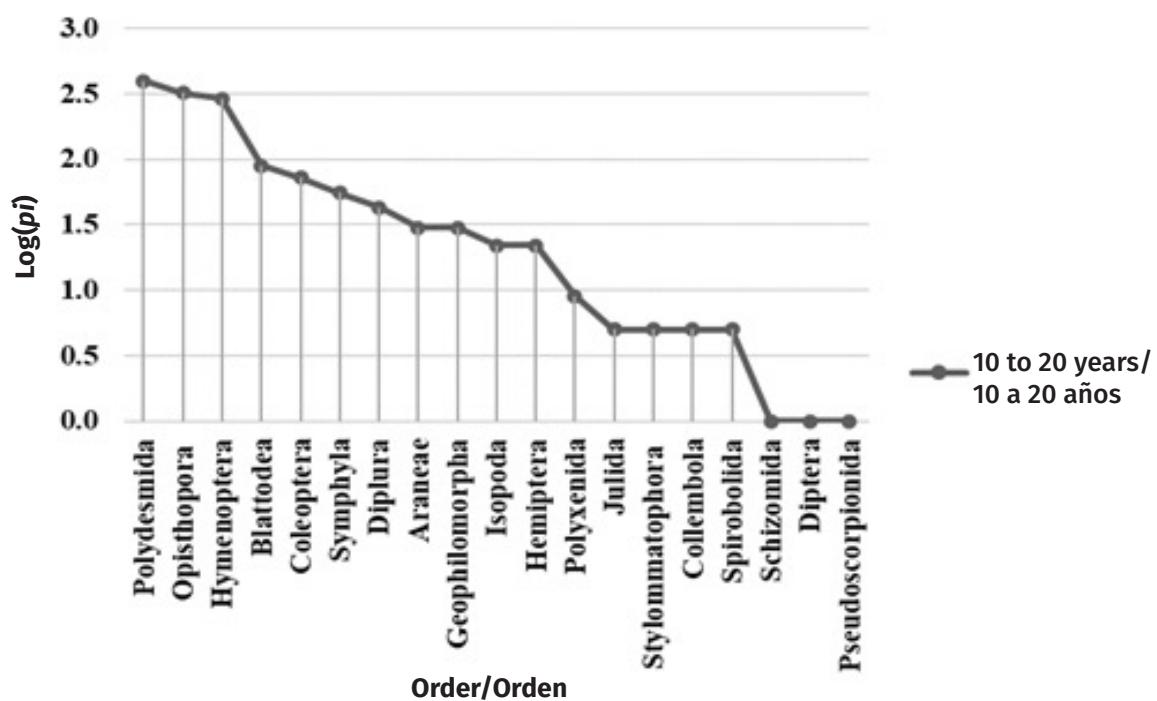


Figure 3. Abundance range of soil macrofauna in SAFs with 0 to 10 years of establishment.

Figura 3. Rango de abundancia de la macrofauna edáfica en SAF con 0 a 10 años de establecimiento.

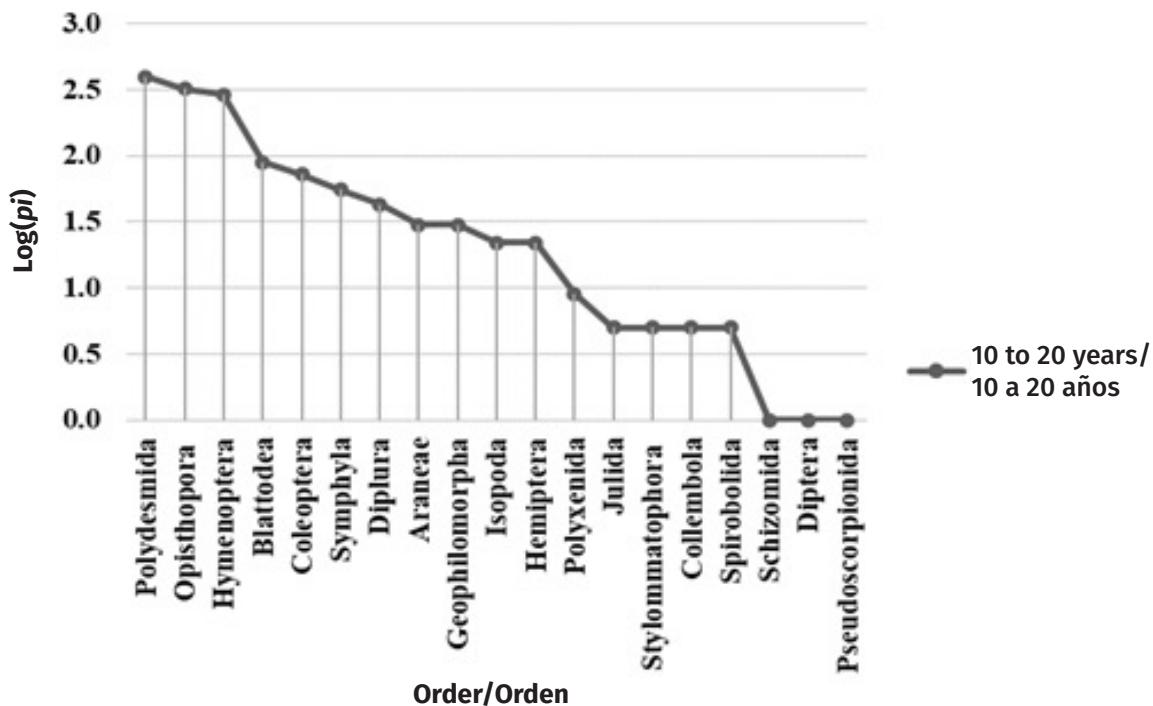
**Figure 4. Abundance range of soil macrofauna in SAF with 10 to 20 years of establishment.**

Figura 4. Rango abundancia de la macrofauna edáfica en SAF con 10 a 20 años de establecimiento.

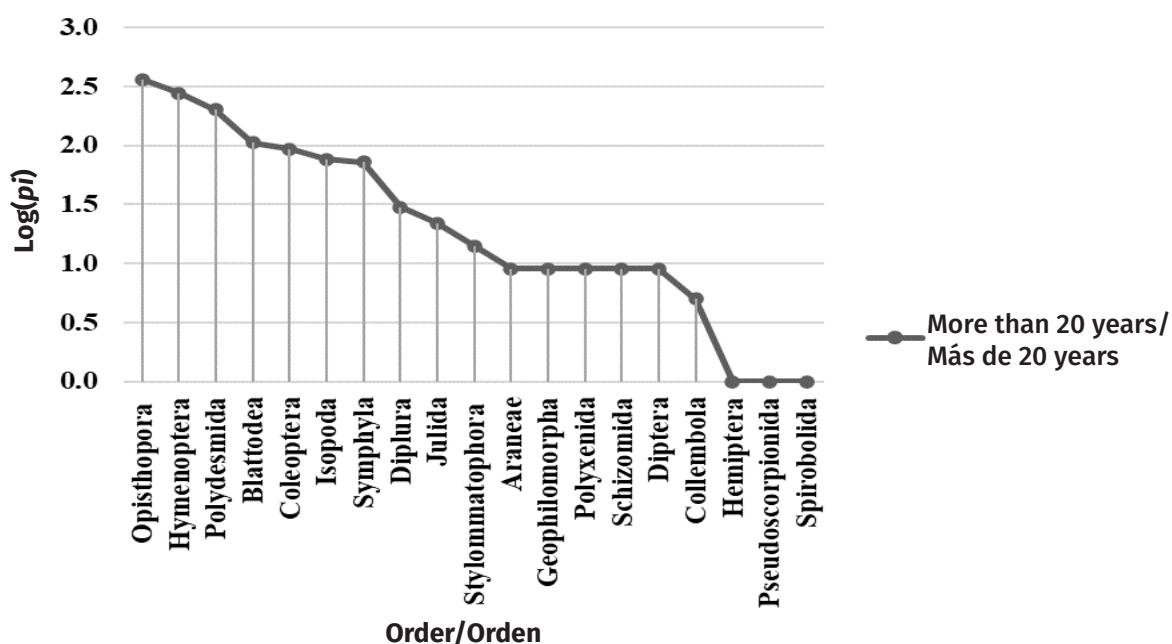
**Figure 5. Abundance range of soil macrofauna in SAF with more than 20 years of establishment.**

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 Opisthopora, 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 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 Opisthopora, Polydesmida, Hymenoptera y Blattodea, en comparación con los taxones considerados raros como Pseudoscorpionida, 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 Opisthopora, 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-

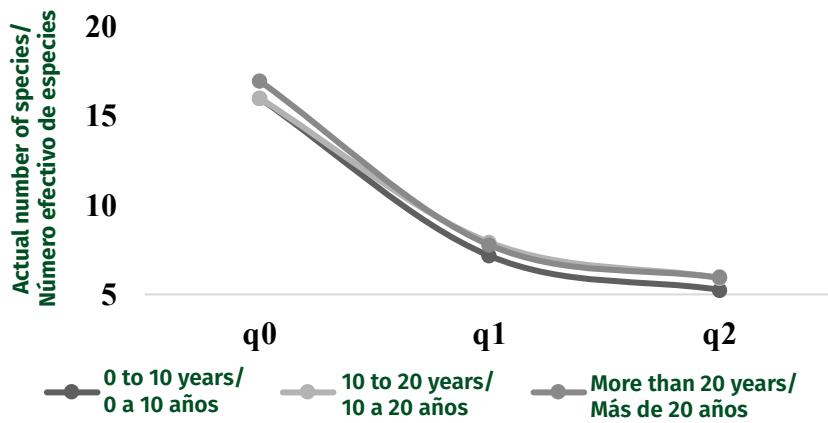
**Figure 6. Diversity of soil macrofauna according to the establishment years group of SAF.**

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

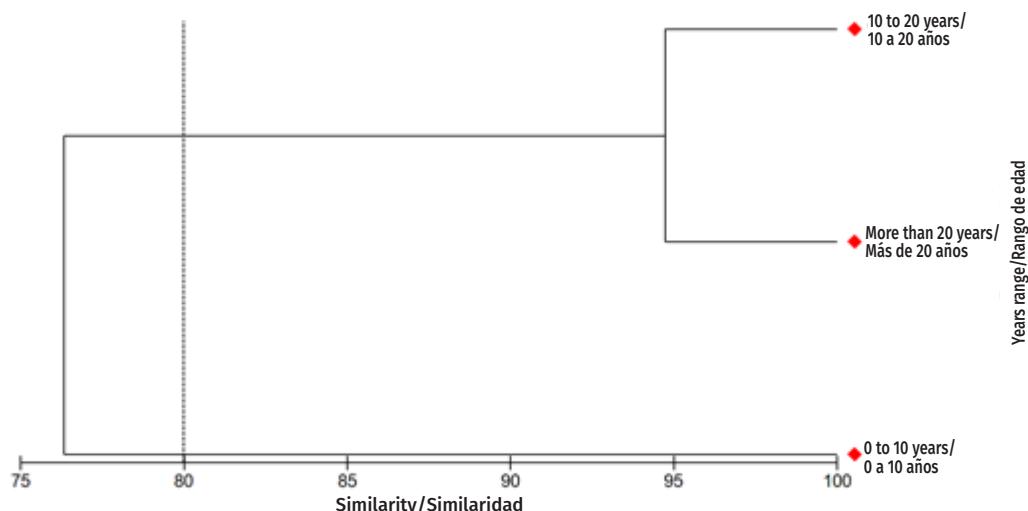
**Figure 7. Similarity in the composition of soil macrofauna in cacao-producing farms belonging to different years groups.**

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

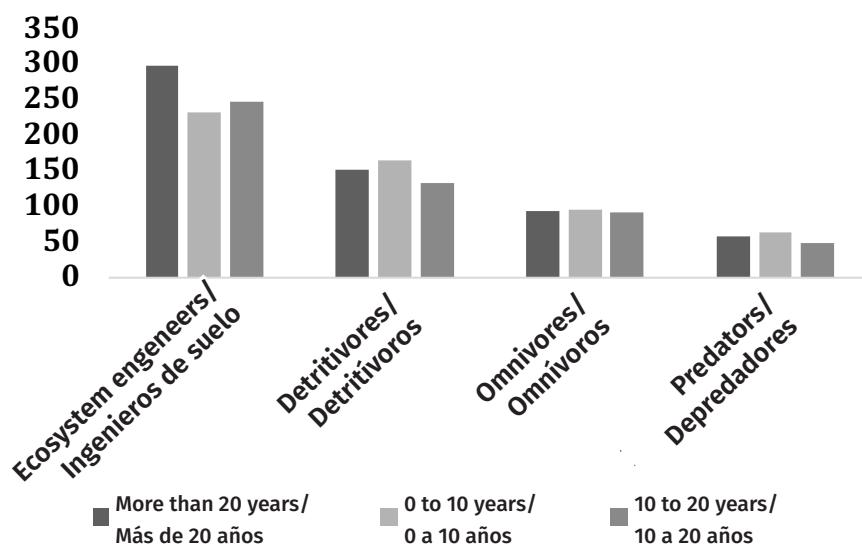
**Figure 8. Density (ind·m⁻²) of functional groups of soil macrofauna according to the establishment year group of SAF.**

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<sup>-2</sup>) of functional groups of soil macrofauna based on the establishment years group of SAF.****Cuadro 2. Densidad (ind·m<sup>-2</sup>) 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
<b>Detritivores/Detritívoros</b>	Isopoda, Symphyla, Julida, Polydesmida, Polyxenida, Spirobolida, Diptera, Collembola, Stylommatophora	165	133	151	450
<b>Predators/ Depredadores</b>	Diplura, Hemiptera, Coleoptera, Araneae, Schizomida, Pseudoscorpionida, Geophilomorpha	64	49	58	171
<b>Omnivores/ Omnívoros</b>	Hymenoptera (Formicidae)	96	92	93	281
<b>Ecosystem engineers / Ingenieros de suelo</b>	Opisthopora, Formicidae, Termitidae, Opisthopora, Formicidae, Termitidae	232	247	297	776

ind·m<sup>-2</sup>, 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<sup>-2</sup> in systems with 0 to 10 years, 92 ind·m<sup>-2</sup> in systems with 10 to 20 years, and 93 ind·m<sup>-2</sup> in systems with more than 20 years, with a total of 281 ind·m<sup>-2</sup>, 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<sup>-2</sup> in systems with 0 to 10 years establishment, 247 ind·m<sup>-2</sup> in systems with 10 to 20 years establishment, and 297 ind·m<sup>-2</sup> in systems with more than 20 years establishment, with a total density of 776 ind·m<sup>-2</sup>, 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,

milaridad (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<sup>-2</sup> en sistemas de cero a 10 años, disminuyendo a 133 ind·m<sup>-2</sup> en sistemas de 10 a 20 años y aumentando a 151 ind·m<sup>-2</sup> en sistemas de más de 20 años, con una densidad total de 450 ind·m<sup>-2</sup>, lo que representa un 27 % de los individuos totales colectados.

Los depredadores presentan una densidad de 64 ind·m<sup>-2</sup> en sistemas de cero a 10 años, 49 ind·m<sup>-2</sup> en sistemas de 10 a 20 años y 58 ind·m<sup>-2</sup> en sistemas de más de 20 años, con un total de 171 ind·m<sup>-2</sup>, 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<sup>-2</sup> en sistemas de cero a 10 años, 92 ind·m<sup>-2</sup> en sistemas de 10 a 20 años y 93 ind·m<sup>-2</sup> en sistemas de más de 20 años, con un total de 281 ind·m<sup>-2</sup>, 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), Opisthopora (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 Opisthopora (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 Opisthopora (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 períodos 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), Opisthopora (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 Opistophora (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 (Morera, 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: Fomicidae), Lombrices de tierra (Ophistopora) 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 (Morera, 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).<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 | Córdova-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](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., Lapiède, 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](http://www.minagricultura.gov.co)
- Morera, 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 ZOOLÓGICA MEXICANA (N.S.)*, 26. <https://doi.org/10.21829/azm.2010.262882>
- Royer, 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](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>
- Somarriba, 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>

# Contents

## **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

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

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

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

Guadalupe Manzano Ocampo

## ***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

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

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

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

Tomás Escobar-Espinosa; Virginia Guadalupe García-Rubio; Pedro Abel Hernández García; Juan José Ojeda-Carrasco

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:** Parasitos, *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 parasitos, 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 nutracéuticas 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 km<sup>2</sup> 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<sup>-1</sup>) 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 km<sup>2</sup> 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 cual-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<sup>-1</sup>). Las variables dependientes fueron la no eclosión de huevos y la mortalidad de larvas de GIN 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 <2mm. 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 CO<sub>2</sub> 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 < 2mm. 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 mayz 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 1mm. 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 CO<sub>2</sub>, para garantizar la fermentación anaerobia como sucede en el rumen. La extracción

at a 1:9 ratio and saturated with CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, 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 NGI.

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 coproparasitoscópicas de flotación y McMaster para identificación de los animales positivos a NGI 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 gases 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 (1.5x1.5x0.5cm) 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<sup>-1</sup> 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.

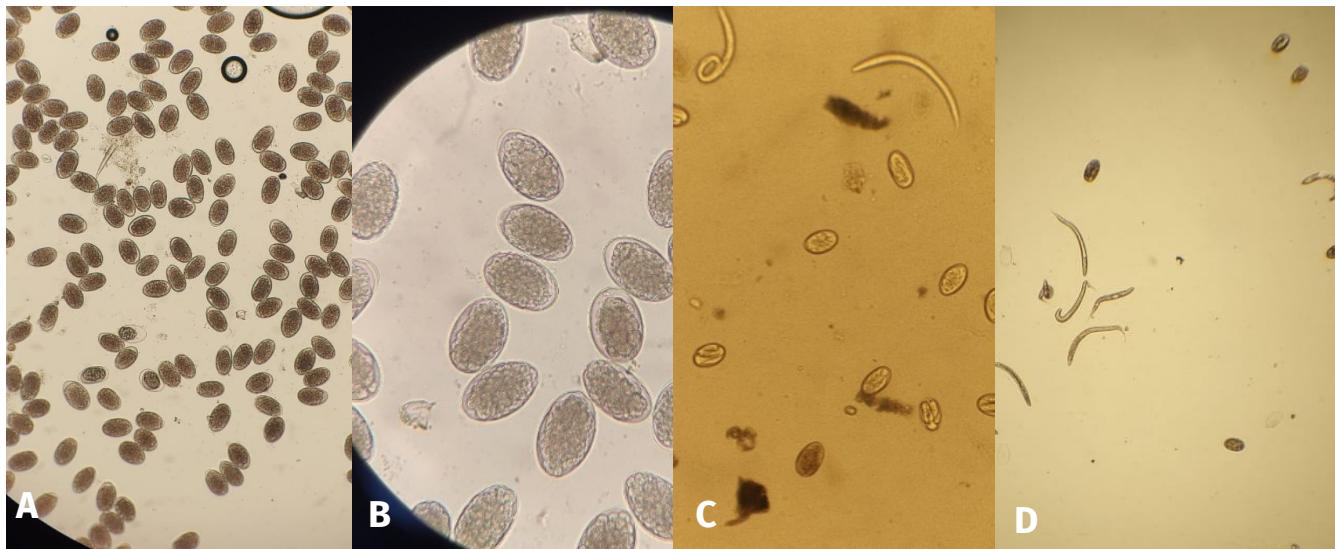
#### e) Diseño experimental

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-Alegria (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).

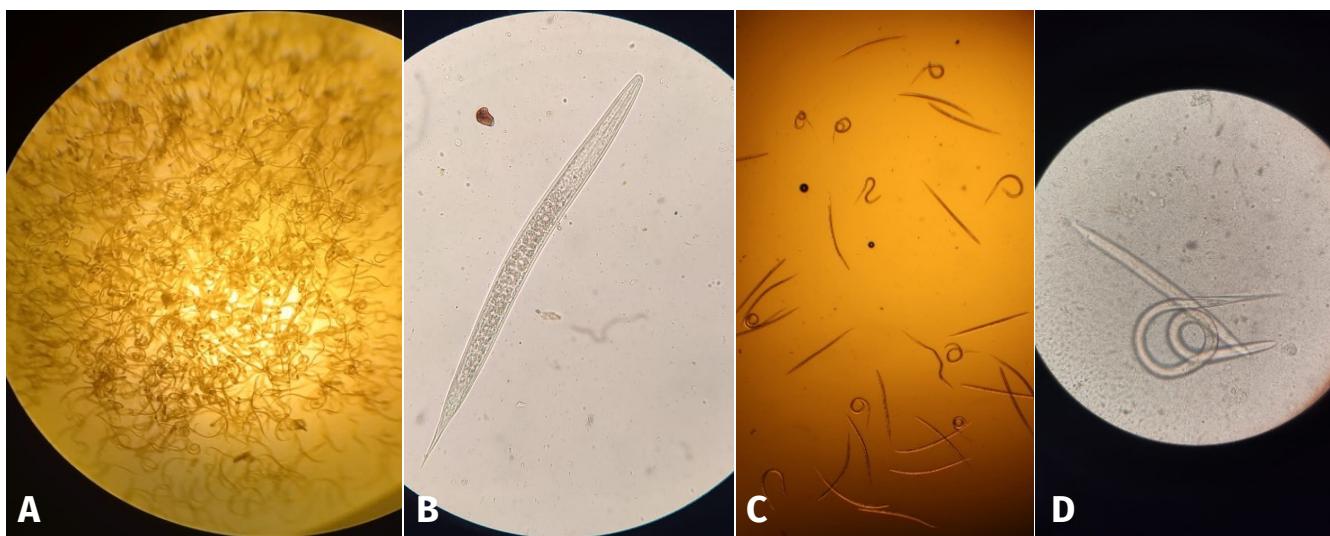
The mortality percentage was calculated using the formula reported by Pineda-Alegria (2017):

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

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<sup>-1</sup>. 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-Alegria (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

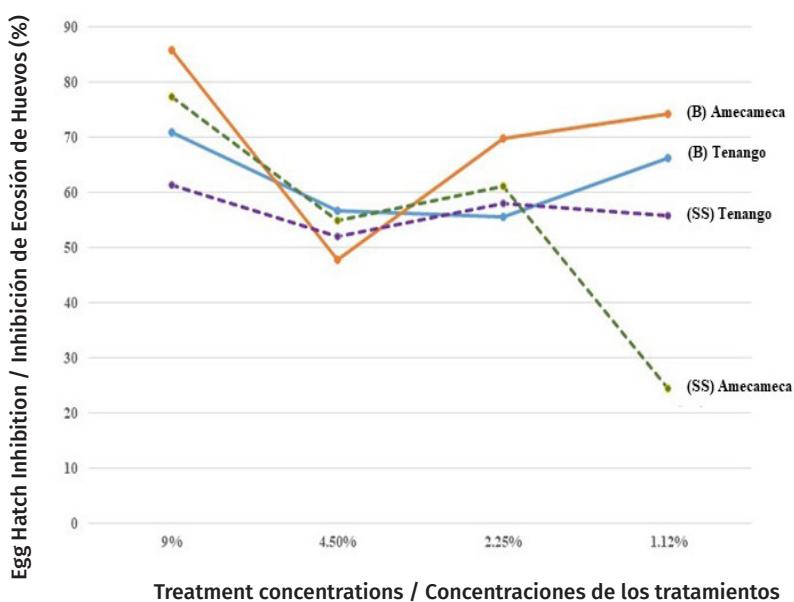
Los extractos de basidiomas y sustratos agotados de *P. ostreatus* empleados en los tratamientos del estudio, mostraron efectos ovicidas y larvicidas contra NGI que afectan a ovinos.

**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	$\bar{X}$	$\bar{X}_c$
Control (-) Water / Control (-) agua	33.7						
Control (+) Ivermectin / Control / Ivermectina	88.4						
9 %	70.9±16.0 <sup>b</sup>	85.7±10.71 <sup>b</sup>	<b>78.3</b>	61.3±4.7 <sup>b</sup>	77.3±7.5 <sup>b</sup>	<b>69.3</b>	<b>73.8</b>
4.50 %	56.7±2.7 <sup>c</sup>	47.8±8.8 <sup>b</sup>	<b>52.3</b>	52.1±14.0 <sup>a</sup>	55.0±6.5 <sup>b</sup>	<b>53.3</b>	52.8
2.25 %	55.6±3.1 <sup>b</sup>	69.8±9.1 <sup>b</sup>	<b>62.7</b>	57.9±2.6 <sup>c</sup>	61.1±13.8 <sup>b</sup>	<b>59.5</b>	<b>61.1</b>
1.12 %	66.3±7.1 <sup>b</sup>	74.2±12.6 <sup>b</sup>	<b>70.3</b>	55.8±3.1 <sup>b</sup>	24.4±6.4 <sup>a</sup>	<b>40.1</b>	<b>55.2</b>
<b>Average / Promedio</b>	<b>62.4</b>	<b>69.4</b>	<b>65.9</b>	<b>56.8</b>	<b>54.5</b>	<b>55.6</b>	

P ≤ 0.05, different letters in the same column indicate statistically significant differences. /

P ≤ 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  $\bar{X}_c=73.8\%$ ); 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  $5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$  (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<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup> after 72 h—only a 0.5 % difference compared to the 3.2 µg·mL<sup>-1</sup> treatment but achieved at nearly one-third of the concentration (1.34 mg·mL<sup>-1</sup>) (Cuevas-Padilla et al., 2024).

With the positive control (ivermectin, 5µg·50µL<sup>-1</sup>), 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<sup>-1</sup> body weight), and by Toro et al. (2014), who reported 77 % (15 DPT at 0.2 mg·kg<sup>-1</sup>). 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>), 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> (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<sup>-1</sup>. 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 nematicidas, 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup>) a 72 h con una diferencia de 0.5 % a la reportada para 3.2 µg·mL<sup>-1</sup>, pero a una concentración de casi un tercio (1.34 mg·mL<sup>-1</sup>) (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 <sup>b</sup>	60.7±1.9 <sup>a</sup>	<b>60.7</b>	61.1±1.1 <sup>b</sup>	61.0±0.8 <sup>c</sup>	<b>61.1</b>	<b>60.9</b>
	4.50 %	60.2±1.0 <sup>b</sup>	59.1±1.9 <sup>a</sup>	<b>59.7</b>	59.6±1.6 <sup>a</sup>	57.5±1.3 <sup>b</sup>	<b>58.6</b>	<b>59.1</b>
	2.25 %	57.2±1.8 <sup>a</sup>	55.4±3.1 <sup>a</sup>	<b>56.3</b>	55.1±3.2 <sup>a</sup>	54.5±2.1 <sup>a</sup>	<b>54.8</b>	<b>55.6</b>
	1.12 %	56.5±2.1 <sup>a</sup>	53.4±5.1 <sup>a</sup>	<b>55.0</b>	52.7±4.9 <sup>a</sup>	54.1±3.9 <sup>a</sup>	<b>53.4</b>	<b>54.2</b>
<b>Average / Promedio</b>		<b>58.6</b>	<b>57.1</b>	<b>57.9</b>	<b>57.1</b>	<b>56.8</b>	<b>56.9</b>	
48 h / 48 hrs	Control (-) Water / Control (-) Agua	33.5						
	Control (+) Ivermectin / Control (+) Ivermectina	97.5						
	9 %	65.4±0.5 <sup>c</sup>	65.7±0.3 <sup>b</sup>	<b>65.6</b>	64.9±0.5 <sup>c</sup>	65.5±0.3 <sup>a</sup>	<b>65.2</b>	<b>65.4</b>
	4.50 %	64.9±0.5 <sup>c</sup>	64.8±0.9 <sup>b</sup>	<b>64.9</b>	64.5±0.7 <sup>c</sup>	63.6±0.8 <sup>c</sup>	<b>64.1</b>	<b>64.5</b>
	2.25 %	62.1±0.962 <sup>b</sup>	62.9±1.1 <sup>b</sup>	<b>62.5</b>	63.0±1.4 <sup>b</sup>	64.3±0.7 <sup>c</sup>	<b>63.7</b>	<b>63.1</b>
	1.12 %	63.1±1.4 <sup>b</sup>	62.1±3.1 <sup>a</sup>	<b>62.6</b>	61.5±1.3 <sup>b</sup>	61.1±1.9 <sup>a</sup>	<b>61.3</b>	<b>62.0</b>
<b>Average / Promedio</b>		<b>63.9</b>	<b>63.9</b>	<b>63.9</b>	<b>63.5</b>	<b>63.6</b>	<b>63.6</b>	

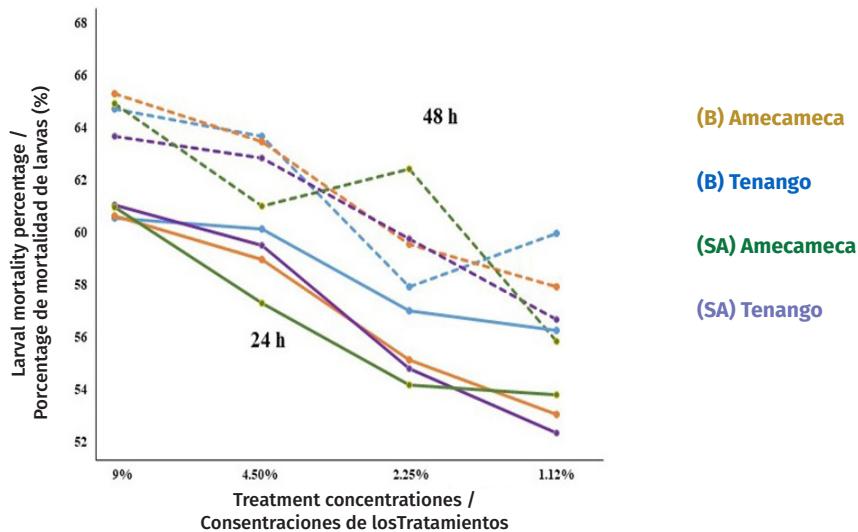
P ≤ 0.05, different letters in the same column indicate statistically significant differences /  
P ≤ 0.05, literales diferentes en la misma columna muestran diferencias significativas.

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 ( $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 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,  $5 \mu\text{g} \cdot 50 \mu\text{L}^{-1}$ ), 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  $0.22 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  de peso corporal) y por Toro et al. (2014), con un 77 % (15 DPT y  $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Asimismo, se aproximan a los obtenidos por González-Garduño et al. (2014) con 86.7 % (7 DPT con Ivermectina  $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  PV). Sin embargo, el IEH es inferior al reportado por Collazo-Preciado et al. (2023) en ovinos tratados con Ivermectina al 4% ( $10.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>) 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 larvicia

Respecto a la actividad larvicia, 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 larvicia 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 CO<sub>2</sub> 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 larvical 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 larvical 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 larvical 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 CO<sub>2</sub>, 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 larvicias 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*, 3<sup>rd</sup> 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., Vinuela, V. P. V., Levecke, 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*

alto que en diferentes estudios ya se hace mención de resistencia a dichos fármacos.

#### **Conclusiones**

Los resultados generados ratifican la actividad ovicida y larvicida 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 larvicida, 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 nematicidas 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*

- 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>

- 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 Coproparasitoscópico. 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 nematicidal activity. *Acta Parasitologica* 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-Acerro, 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., McCallan, 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/4tfrrb9z7>
- 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>

## **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**

**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.

Glafiro Torres Hernández  
Colegio de Postgraduados. México.

LA EDICIÓN DE ESTE NÚMERO  
ESTUVO A CARGO DE LA  
COORDINACIÓN DE REVISTAS  
INSTITUCIONALES  
DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

2025