



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
CAMPUS V**



La sustentabilidad del agroecosistema maíz (*Zea mays* L.) en la región  
Frailesca, Chiapas, México

**T E S I S**

que para obtener el grado de

**DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y SUSTENTABILIDAD**

**Presenta**

**FRANKLIN B. MARTINEZ AGUILAR PS1280**

**Director de tesis**

**DR. FRANCISCO GUEVARA HERNÁNDEZ**

**Codirector de tesis**

**DR. LUIS ALFREDO RODRÍGUEZ LARRAMENDI**

**Villaflores, Chiapas, México**

**Octubre, 2020**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS, CAMPUS V.**  
**DIRECCIÓN**



VILLAFLORES, CHIAPAS  
28 DE SEPTIEMBRE DE 2020  
OFICIO N° D/201/20

**M.C. FRANKLIN B. MARTÍNEZ AGUILAR**  
DOCTORANTE EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y SUSTENTABILIDAD  
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
P R E S E N T E.

En atención a que usted ha presentado los votos aprobatorios del Honorable Jurado, designado para la evaluación de la tesis de doctorado titulada: **“La sustentabilidad del agroecosistema maíz (*Zea mays* L.) en la región Frailesca, Chiapas, México”**, por este conducto le comunico que se le autoriza la impresión del documento, de acuerdo a los lineamientos vigentes de la Universidad.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVICIO”

**M. C. ROBERTO REIMUNDO COUTIÑO RUIZ**  
DIRECTOR



C. c. p. Archivo



Código: FO-113-09-05

Revisión: 0

## CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) Franklin B. Martínez Aguilar,  
Autor (a) de la tesis bajo el título de "La sustentabilidad del agroecosistema maíz (*Zea mays* L.) en la región Frailesca, Chiapas, México"

presentada y aprobada en el año 2020 como requisito para obtener el título o grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad, autorizo a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), a que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para que contribuya a la divulgación del conocimiento científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 5 días del mes de Octubre del año 2020.

Franklin B. Martínez Aguilar

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

## **DEDICATORIA**

Esta tesis es resultado del esfuerzo de muchas personas, quienes de manera desinteresada contribuyeron a mi formación, a todos ellos les dedico la presente obra.

A mis padres Reynolds Martinez Domínguez e Hilda Aguilar Camacho, quienes me inculcaron ser perseverante, respetuoso, tenaz en las cosas que iniciara y jamás conformarse con lo logrado. Esto es una meta alcanzada por el momento.

A mi esposa Guadalupe Alfaro Grajales, quién me ha apoyado en mis proyectos de vida tanto en lo profesional como en lo personal, por la comprensión de la ausencia en casa, me siento muy agradecido por estar a tu lado.

A mis hijos Letsli y Franklin Jr., he tratado de inculcarles el estudio como una herramienta de vida y mostrarles que nunca hay límites para el aprendizaje, los límites nosotros mismos los colocamos para no alcanzar otros horizontes.

A mis hermanos Leyber David, Josué Gabriel y Alejandro, que siempre preguntaron sobre el proceso de mis estudios e impulsándome para hacer realidad mis sueños. Con cariño y respeto.

A todos mis primos (as), tíos, sobrinos y mis cuñadas, que siempre hemos compartido momentos agradables en familia, con cariño y respeto para ustedes.

A mis amigos, que hemos convivido alegrías, sucesos de lo profesional o personal, gracias por apoyarme en lo moral, que siempre se necesita en momentos complicados de la vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS por permitirme dar el soplo de vida, para alcanzar esta etapa de mi vida profesional.

Al pueblo de México, que con sus contribuciones colaboraron de manera directa con mi beca de estudio doctoral.

A la Universidad Autónoma de Chiapas, por todo el apoyo recibido para mis estudios doctorales, siempre estaré en deuda con mi Alma Mater. Además, me ha cobijado como su trabajador, lo cual espero no defraudar y aportar mi granito de arena en la formación de los futuros Ingenieros Agrónomos.

Al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por el apoyo recibido de la beca durante mis estudios doctorales.

A mi amigo M.C. Roberto R. Coutiño Ruiz, director de la Facultad de Ciencias Agronómicas, quien me brindó el apoyo y su confianza para realizar mis estudios doctorales, muchas gracias.

A mi amigo y Director de Tesis Doctoral Dr. Francisco Guevara Hernández, de quien he recibido un apoyo incondicional en todo el proceso de mis estudios, en la revisión de documentos, sugerencias, motivación para ser mejor cada día y sobre todo su valiosa amistad, muchas gracias.

A mi amigo y Codirector de Tesis Dr. Luis Alfredo Rodríguez Larramendi, por sus comentarios en la revisión de los manuscritos científicos y su valiosa amistad. Muchas gracias por todo su apoyo.

A mi amigo y Asesor de tesis Dr. Carlos Ernesto Aguilar Jiménez, de quien siempre he tenido su apoyo incondicional y su confianza tanto en lo profesional como en lo personal, estoy muy agradecido.

A mi amigo y Asesor de tesis Dr. René Pinto Ruiz, quien ha confiado en mí y he formado parte de la dinámica de trabajo que se desarrolla en el interior del Cuerpo Académico en Agroforestería Pecuaria. Muchas gracias.

Al Dr. José Nahed Toral investigador del Colegio de la Frontera Sur, con sede en San Cristóbal de las Casas, por sus observaciones al manuscrito de la tesis y quien formó parte del jurado del examen de candidatura y examen doctoral. Muchas gracias.

Al Dr. Manuel Alejandro La O Arias, quien me apoyo en el análisis estadístico de las variables obtenidas en campo, revisiones de los manuscritos científicos y por la amistad proporcionada, muchas gracias.

A mis compañeros del Cuerpo Académico en Agricultura Sostenible Dr. Juan Alonso Morales Cabrera, Dr. José Galdámez Galdámez, Dr. Antonio Gutiérrez Martínez, M.C. Jaime Llaven Martínez, MAT. Héctor Vázquez Solís y M.C. Eraclio Gómez Padilla, quienes hemos compartido horas de trabajo y por todo el apoyo que he recibido de ustedes, muchas gracias.

A la Dra. María de Lourdes Zaragoza Martínez, por todas las facilidades y apoyo proporcionado durante mis estudios doctorales, muchas gracias.

A los profesores que participaron en mis estudios doctorales, Dr. Deb Raj Aryal, Dra. María de Lourdes Zaragoza Martínez, Dr. Heriberto Gómez Castro, Dr. Francisco Guevara Hernández, Dr. Apolonio Venegas Venegas con la impartición de una cátedra, muchas gracias por sus conocimientos.

Con mucho cariño para los estudiantes, Leomagno Pérez Roblero, Miguel Antonio Vázquez Saraoz, José Manuel Hernández Pérez, Gerardo Gómez Ramos, Pablo David Morales Pérez, Josué Camas, Fernando Ico Hernández y al M.c. Martín de Jesús Ocaña Grajales, quienes desinteresadamente me apoyaron en todo el trabajo de campo, entrevistas, encuestas, muestreos de suelos y recorridos de las parcelas y en el laboratorio para las muestras de macrofauna del suelo. Muchas gracias por su apoyo.

Al M.C. Manuel Antonio Hernández Ramos, quien diseño y elaboró los mapas de la región Frailesca y a su esposa M.C. Lissy Rosabal Ayan. Muchas gracias por todo su apoyo.

A todos los compañeros de la Red de Estudios para el Desarrollo Rural A.C., quienes compartimos momentos de trabajo y convivencia. Muchas gracias.

A los productores de la región Frailesca, que compartieron sus conocimientos e información de manera alegre, siempre con un chascarrillo, para hacer más amena la plática, además recorrimos sus parcelas donde año con año siembran el cultivo de maíz, con sus problemas y aciertos, como los productores dicen “que le vamos hacer si el maíz es nuestra cultura”. Gracias por su colaboración e información proporcionada.

Con gran respeto por su apoyo, amistad y comentarios hacia mi formación profesional C.P. Salvador Vallejo Trinidad, muchas gracias amigo.

A mi compañera de generación Patricia Estela Sánchez, que compartimos momentos de estudio desde nuestras trincheras académicas, con mucho respeto gracias por tu amistad.

A mis amigos Iliana Arias y José Arredondo, gracias por esos momentos que hemos compartido juntos y somos parte de este proceso de aprendizaje. Gracias por su amistad.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
CAMPUS V**



**CUERPO ACADÉMICO EN AGROFORESTERÍA PECUARIA**

Esta tesis titulada: “**LA SUSTENTABILIDAD DEL AGROECOSISTEMA MAÍZ (*Zea mays* L.) EN LA REGIÓN FRAILESCA, CHIAPAS, MÉXICO**”, forma parte del proyecto de investigación: **CARACTERIZACIÓN SOCIO-AGRONÓMICA DE MAÍCES LOCALES CON POTENCIAL DE USO MÚLTIPLE EN LA REGIÓN FRAILESCA, CHIAPAS**. Dicho proyecto es financiado por el **CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Y CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAÍZ Y TRIGO (CIMMYT)** a través del programa MASAGRO-SAGARPA y se encuentra bajo la dirección del **Dr. Francisco Guevara Hernández**. Este proyecto está registrado en la Dirección General de Investigación y Posgrado y se incluye en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: **PRODUCCIÓN ANIMAL, AMBIENTE E INNOVACIÓN LOCAL DEL CUERPO ACADÉMICO EN AGROFORESTERÍA PECUARIA**. Además, se incluye en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: **MANEJO SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES** del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad.





**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**CAMPUS V**



**CUERPO ACADÉMICO EN AGROFORESTERÍA PECUARIA**

Esta tesis titulada: “**LA SUSTENTABILIDAD DEL AGROECOSISTEMA MAÍZ** (*Zea mays* L.) **EN LA REGIÓN FRAILESCA, CHIAPAS, MÉXICO**”, se desarrolló en el marco de investigación científica de la Red temática denominada: **ETNOECOLOGÍA Y PATRIMONIO BIOCULTURAL**, la cual está reconocida y registrada oficialmente ante el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), y de la cual el *Dr. Francisco Guevara Hernández* es integrante en activo y además forma parte del Cuerpo Académico en Agroforestería Pecuaria, en el cual está a cargo de las sublíneas de investigación: *Innovación y extensionismo, Sistemas tradicionales de producción y Monitoreo y evaluación de procesos*, dentro de la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: *Producción Animal, Ambiente e Innovación local*.





**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**CAMPUS V**



Esta tesis titulada LA SUSTENTABILIDAD DEL AGROECOSISTEMA MAÍZ (*Zea mays* L.) EN LA REGIÓN FRAILESCA, CHIAPAS, MÉXICO, fue realizada por el MAT. FRANKLIN B. MARTÍNEZ AGUILAR, bajo la dirección y asesoría del Comité Tutorial indicado, como requisito parcial para obtener el grado de DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y SUSTENTABILIDAD.

**COMITÉ TUTORIAL**

**DIRECTOR**

DR. FRANCISCO GUEVARA HERNÁNDEZ

**CODIRECTOR**

DR. LUIS ALFREDO RODRÍGUEZ LARRAMENDI

(UNICACH)

**ASESORES**

DR. CARLOS ERNESTO AGUILAR JIMÉNEZ

DR. RENÉ PINTO RUIZ



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**CAMPUS V**



Esta tesis titulada LA SUSTENTABILIDAD DEL AGROECOSISTEMA MAÍZ (*Zea mays* L.) EN LA REGIÓN FRAILESCA, CHIAPAS, MÉXICO, fue realizada por el MAT. FRANKLIN B. MARTÍNEZ AGUILAR, ha sido aprobada por la Comisión Revisora indicada, como requisito parcial para obtener el grado de DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y SUSTENTABILIDAD.

**COMISIÓN REVISORA**

DR. FRANCISCO GUEVARA HERNÁNDEZ

DR. CARLOS ERNESTO AGUILAR JIMÉNEZ

DR. JOSÉ NAHED TORAL  
(ECOSUR)

## CONTENIDO

	Página
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvi</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Preguntas de investigación .....	3
1.3 Objetivo general .....	3
1.3.1 Objetivos específicos .....	3
1.4 Hipótesis general.....	3
1.4.1 Hipótesis específicas .....	3
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>5</b>
2.1 El paradigma agroecológico.....	5
2.2 Tipificación de productores y caracterización del agroecosistema maíz.....	8
2.2.1 Agroecosistema maíz.....	9
2.3 El paradigma de la sustentabilidad.....	10
2.4 Metodologías de evaluación de la sustentabilidad.....	11
2.5 Construcción de escenarios .....	13
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>16</b>
3.1 Localización del área de estudio.....	16
3.2 Desarrollo de la investigación.....	16
3.2.1 Tipificación de productores de maíz.....	17
3.2.2 Caracterización del agroecosistema maíz.....	17
3.2.2.1 Eficiencia energética y económica.....	17
3.2.2.2 Calidad del suelo.....	18
3.2.3 Evaluación de la sustentabilidad.....	19
3.2.3.1 Objeto de estudio.....	20
3.2.3.2 Puntos críticos y selección de indicadores.....	20
3.2.4 Construcción de escenarios.....	22

3.2.5 Análisis de la información.....	23
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>24</b>
4.1 Caracterización de productores de maíz e indicadores de sustentabilidad en Chiapas, México .....	24
4.2 Tipificación socio-agronómica y energética de productores de maíz en la región Frailesca, Chiapas, México .....	39
4.3 Eficiencia energética y económica del agroecosistema maíz bajo tres estrategias de manejo en la Frailesca, Chiapas (México).....	58
4.4 Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas.....	82
4.5 Sustentabilidad del agroecosistema maíz ( <i>Zea mays</i> L.) en la región Frailesca, Chiapas, México.....	101
4.6 Escenarios posibles del agroecosistema maíz para la región Frailesca de Chiapas, México .....	132
4.7 Discusión general.....	154
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>158</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>160</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Atributo, criterios de diagnóstico e indicadores para la evaluación del agroecosistema maíz de la región Frailesca de Chiapas, México.....	21

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura ..	Página
1. Localización del área de estudio. Región Frailesca, Chiapas.....	16
2. Pasos metodológicos para la construcción de escenarios del agroecosistema maíz.....	22

## RESUMEN

La región Frailesca se ha caracterizado por ser productora de maíz del estado de Chiapas; sin embargo, ha sido cuestionada por la gran cantidad de insumos que utiliza en el proceso de producción de maíz, lo que ha generado impactos negativos en los recursos naturales y la sociedad. En ese sentido, el objetivo general de esta investigación fue evaluar la sustentabilidad del agroecosistema maíz a través de las dimensiones ambiental, económico y social, prevalecientes en la región Frailesca, Chiapas, México. El proceso de investigación contempló tres etapas: 1) tipificación de productores y caracterización del agroecosistema desde el punto de vista energético, económico y la calidad del suelo; 2) evaluación de la sustentabilidad y; 3) construcción de escenarios exploratorios. Se identificaron seis tipologías sobre la base de 11 componentes principales que explican el 73% de la variabilidad total. Todos los grupos de productores son energéticamente eficientes, lo que se asocia con la eficiencia productiva y económica del agroecosistema. Además, se identificaron tres formas de manejo: convencional, agroecológica y mixto. En la evaluación de la sustentabilidad el manejo agroecológico presentó más indicadores cercanos al óptimo comparado con las otras dos formas de manejo. Lo anterior indica que el manejo agroecológico es más sustentable, ya que cubrió el 83% de las dimensiones evaluadas, mientras que el convencional y el mixto abarcaron el 71.69% y 78.69% respectivamente. Los escenarios exploratorios construidos sobre la base de indicadores de sustentabilidad fueron tres: *cueste lo que cueste*, *siempre verde* y *cuesta menos* tienen un horizonte al 2030. El escenario *cueste lo que cueste*, representa una forma del agroecosistema basada en la energía industrial, la comercialización de la cosecha se basa en contratos a futuro, con alto costo de producción y nula conservación de los recursos naturales. El escenario *siempre verde* se visualiza como una agricultura familiar, emplea prácticas de conservación del suelo, uso de policultivos, rotación de cultivos y aplica abonos orgánicos. El escenario *cuesta menos* se caracteriza como una agricultura donde se incorporan prácticas de conservación del suelo, se usan moderadamente agroquímicos, presenta una buena eficiencia energética y como complemento productivo combina simultáneamente la producción de maíz con ganado de doble propósito como fuente de ingreso permanente.

**Palabras clave:** Caracterización, Evaluación, Futuro, Tecnología, Tipificación

## ABSTRACT

The Frailesca region has been characterized as a producer of maize in the state of Chiapas; However, it has been questioned by the large amount of inputs used in the maize production process, which has generated negative impacts on natural resources and society. In this sense, the general objective of this research was to evaluate the sustainability of the maize agroecosystem through the environmental, economic and social dimensions, prevailing in the Frailesca region, Chiapas, Mexico. The research process included three stages: 1) typification of producers and characterization of the agroecosystem from the energy, economic and soil quality point of view; 2) sustainability assessment and; 3) construction of exploratory scenarios. Six typologies were identified based on 11 main components that explain 73% of the total variability. All producer groups are energy efficient, which is associated with the productive and economic efficiency of the agroecosystem. In addition, three forms of management were identified: conventional, agroecological and mixed. In the evaluation of sustainability, the agroecological management presented more indicators close to the optimum compared to the other two forms of management. The above indicates that agroecological management is more sustainable, since it covered 83% of the evaluated dimensions, while the conventional and mixed ones covered 71.69% and 78.69% respectively. The exploratory scenarios built on the basis of sustainability indicators were three: whatever it costs, always green and it costs less, they have a horizon to 2030. The scenario, whatever it costs, represents a form of the agroecosystem based on industrial energy, commercialization of the harvest is based on future contracts, with high production costs and no conservation of natural resources. The evergreen scenario is visualized as family farming, employing soil conservation practices, polyculture use, crop rotation, and applying organic fertilizers. The scenario costs less is characterized as an agriculture where soil conservation practices are incorporated, agrochemicals are used moderately, presents good energy efficiency and as a productive complement it simultaneously combines corn production with dual-purpose cattle as a permanent source of income.

**Keywords:** Characterization, Evaluation, Future, Technology, Typification

## 1. INTRODUCCIÓN

En México, el maíz (*Zea mays* L.) es una especie cultivada con alta diversidad genética por ser centro de origen junto con el resto de las naciones de Mesoamérica. Es un cultivo prehispánico, que posee diversos usos y cuenta con un arraigo cultural por excelencia en todo el país. Su uso diverso desde la alimentación animal con el maíz amarillo hasta la alimentación humana con el maíz blanco en tortillas o pozol. Los maíces de otros colores se utilizan con frecuencia para la elaboración de diversos antojitos elaborados desde tiempos remotos. Por estas razones, el maíz constituye una cuestión de seguridad alimentaria. El país tiene una producción de 27.22 millones de toneladas aproximadamente e importa un total de 14 millones de toneladas, que evidencia un déficit productivo actual (SIAP<sup>1</sup>, 2019).

Chiapas es uno de los primeros diez estados productores de maíz en México; aporta 1,255,419.51 toneladas anuales. La región Frailesca, particularmente se destaca por su producción de maíz con una superficie cultivada de 61,365.50 ha, y un rendimiento promedio de 3.35 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2019).

En este contexto existen dos visiones productivas con estrategias tecnológicas diferenciadas. Por un lado, está la visión convencional basada en el uso de paquetes tecnológicos y sustentada en un enfoque productivista de intensificación del agroecosistema, y dependiente en su totalidad de insumos industriales. Situación que ha generado impactos técnicos negativos, ambientalmente alarmantes y socialmente cuestionados. Actualmente muchos productores abandonan la producción de maíz debido a los altos costos de producción que alcanzan los \$ 20,889 pesos mexicanos por hectárea (FIRA<sup>2</sup>, 2019). Un elemento clave en esta problemática es la degradación de los suelos, acidificación, pérdida de materia orgánica y compactación del suelo (Aguilar *et al.*, 2008; López *et al.*, 2018 y López *et al.*, 2019), lo que propicia cada vez más, una dependencia hacia los insumos agrícolas para mantener el rendimiento competitivo.

Por otro lado, existe una visión ambiental defendida y promovida principalmente por varios actores del desarrollo local. Esta se basa en los principios de la agroecología y fomenta el uso mínimo de insumos agrícolas y además, reconoce y utiliza las tecnologías y los conocimientos locales. No obstante, existen perspectivas intermedias con las características de ambas visiones que se unen dinámicamente y dan forma a una corriente productiva por demás interesante desde la visión del desarrollo del sector y de la ciencia. Ocaña (2015); Guevara (2017) y Guevara *et al.* (2018) realizaron

---

<sup>1</sup> Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

<sup>2</sup> Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura

estudios sobre los actores que promueven el desarrollo agropecuario y los aspectos tecnológicos que sustentan estas formas de manejo del agroecosistema en la región.

Hasta ahora, en los estudios del cultivo no se han reportado investigaciones que indiquen la condición de la sustentabilidad del agroecosistema maíz en la región, ni la dinámica de esta; así como tampoco de las implicaciones agroecológicas que tiene la incorporación de algunas prácticas agronómicas modernas al sistema, por parte de los productores e implementadas por algunas instituciones públicas y privadas. Por ello, se requieren estudios holísticos del agroecosistema que permitan una mejor comprensión de los procesos productivos actuales desde una perspectiva del desarrollo y documentar la dinámica y tendencias de este.

En esta investigación se parte del supuesto que el tipo de productor de la región determina el grado de la problemática actual y sobre todo, el nivel de sustentabilidad que presenta dicho agroecosistema, la cual entre otras cosas, está íntimamente relacionada con el tipo de tecnología empleada en el proceso productivo. Por tal motivo, se plantea el estudio de la sustentabilidad del agroecosistema maíz de los productores de la región Frailesca, mediante una evaluación sistémica con indicadores para las dimensiones ecológica, económica y social. Este estudio contribuye con la generación de conocimiento sobre el estado actual del agroecosistema a través de la tipificación de los productores y la caracterización del agroecosistema desde el punto de vista energético, económico y las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Así también se evalúa la sustentabilidad. Posteriormente se construyen escenarios exploratorios para la producción de maíz, los cuales servirían como base o consulta para la definición de políticas públicas o el diseño de alternativas tecnológicas para contribuir al desarrollo del agroecosistema maíz, base fundamental de los productores de la región.

### **1.1 Planteamiento del problema**

La región Frailesca se ha caracterizado por ser productora de maíz del estado de Chiapas, aporta 205,570.24 toneladas que representa el 17.12% que hace al total de la producción estatal de maíz y presenta un rendimiento promedio de  $3.35 \text{ t ha}^{-1}$ . Sin embargo, en los últimos años, la región presenta problemas de degradación de suelos, altos costos de producción y bajos rendimientos. A su vez, la Frailesca ha sido cuestionada por la gran demanda y uso de insumos agrícolas que se emplean en el proceso de producción del maíz. Por ello, es necesario estudiar al agroecosistema de manera sistémica, para abordar cada componente y conocer el nivel de sustentabilidad actual. En ese sentido, se plantean las siguientes preguntas de investigación, objetivos e hipótesis:

## **1.2 Preguntas de investigación**

¿Qué tipo de productor existe en la región y acaso este determina el grado de sustentabilidad del agroecosistema maíz?

¿Cuáles son las tecnologías empleadas actualmente por los productores que aseguran la sustentabilidad del agroecosistema maíz?

Con los resultados obtenidos, ¿será posible identificar escenarios para una producción sustentable de maíz?

## **1.3 Objetivo general**

Evaluar la sustentabilidad del agroecosistema maíz a través de las dimensiones ambiental, económico y social, prevalientes en la región Frailesca, Chiapas, México.

### **1.3.1 Objetivos específicos**

a) Tipificar los productores de maíz de la Frailesca, Chiapas, con criterios de sustentabilidad y caracterizar el agroecosistema maíz sobre la base de la tecnología utilizada con miras a la evaluación del agroecosistema.

b) Evaluar la sustentabilidad del agroecosistema maíz a partir del Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) en la región Frailesca.

c) Identificar escenarios posibles con criterios de sustentabilidad para una propuesta estratégica de atención del agroecosistema maíz en la región Frailesca de Chiapas.

## **1.4 Hipótesis general**

Existe sustentabilidad en el agroecosistema maíz con las dimensiones ambiental, económico y social, en la región Frailesca, Chiapas, México.

### **1.4.1 Hipótesis específicas**

a) Existen tipos de productores de maíz en la región Frailesca, Chiapas, y son diferentes sobre la base de la tecnología utilizada.

b) El tipo de productor determina el grado de sustentabilidad del agroecosistema maíz de acuerdo a la tecnología que utiliza en el proceso de producción.

c) Los escenarios permiten visualizar el futuro del agroecosistema maíz bajo las formas de manejo que predominan en la zona de estudio.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 El paradigma agroecológico

La agroecología es relativamente reciente, tiene sus raíces en la década de los sesenta, y surge para analizar fenómenos ecológicos como la relación entre las arvenses, plagas y cultivos, el término se ha ido ampliando progresivamente para aludir a una concepción particular de la actividad agrícola más relacionada al ambiente, más justa socialmente (Altieri, 1987).

Como ciencia, la agroecología estudia las formas de producción agrícola, utiliza un manejo armonioso con la naturaleza; por ello, el principal propósito lo constituye la conservación activa de los recursos naturales, sus objetivos son: mejorar la riqueza genética de las especies nativas dedicadas a la agricultura y cuidar la vida silvestre tanto vegetal como animal, valorando estos aspectos como parte del patrimonio genético de las comunidades rurales del mundo de la postmodernidad y la vida del ser humano (Gliessman *et al.*, 2007).

La agroecología tiene un enfoque integral del desarrollo porque se basa en un contexto científico diferente, el paradigma es holístico. Los sistemas sociales ecológicos se reflejan mutuamente, pues han coevolucionado juntos. La investigación de la ciencia natural y de la ciencia social, lo mismo que sus prescripciones, no se pueden separar. El enfoque es nuevo y está evolucionando, pero la agroecología comparte el conocimiento con otros numerosos campos de investigación (Mariaca, 1995 y Ruiz, 2006).

Bajo el nuevo enfoque de estudio, la agroecología ha sido tomada como una filosofía y una manera de ver y enfrentar la vida, además de que incorpora elementos como las relaciones justas entre el hombre y los animales, las plantas y el ambiente en general y para ello es necesario desarrollar tecnologías que no alteren considerablemente la cultura de los que practican, que las mismas no perturben o contaminen las redes tróficas que intervienen en el proceso biológico de las especies para su crecimiento (Altieri y Nicholls, 2007 y Altieri y Toledo, 2011). Por ello, dejar a la naturaleza que haga la parte que le corresponde en el proceso natural de transformación de energía es, en síntesis, el enfoque central de la agroecología. Para ello la relación armoniosa entre la naturaleza y el hombre, para conservar produciendo para las generaciones actuales y futuras es el interés central (Ollson y Ness, 2019).

El paradigma de la agroecología implica la idea de las limitaciones que imponen los recursos del ambiente, el estado actual de la tecnología y de la organización social y de la capacidad de la biosfera de absorber los efectos de la actividad humana (Thoren y Stalhammar, 2018). De las consideraciones anteriores surge la agroecología como

una ciencia diferente para entender y contrarrestar el efecto de degradación de las actividades agrícolas debido a la utilización de tecnologías modernas, planeadas a ser utilizadas para incrementar la producción de alimentos, para cubrir las necesidades de una población cada día mayor; se considera como tesis central de la agroecología, a la sostenibilidad, la cual establece: producir conservando los recursos para satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades partiendo de la misma base (Altieri, 1983 y Altieri, 1992).

La agroecología tiene su principal representación en las prácticas agrícolas tradicionales, donde considera al desarrollo rural en forma independiente de los conocimientos de flujos agrícolas y la imposición de la macro-planificación como desligándose no solo de las culturas sino también del mismo conocimiento empírico sobre el que se puede construir la base del desarrollo agroecológico, significando esto que la agroecología es protectora del conocimiento cultural. Respetar el conocimiento autóctono y manifestar que la corriente de planeación descendente o verticalista ha contribuido negativamente a la situación actual de nuestro agro, son también objetivos de la agroecología; las condiciones actuales necesitan un enfoque distinto; es decir, ascendente donde el conocimiento empírico de las comunidades rurales y juntos desarrollen proyectos sostenibles útiles para amortiguar el subdesarrollo, este enfoque es el agroecológico (Gliessman, 1993 y Sans, 2007).

Sarandon y Flores (2009) indican que en los últimos años, la agroecología ha tomado una importancia relevante en las instituciones de investigación, debido al impacto mundial generalizado de las actividades agrícolas convencionales; sin embargo, los fenómenos agroecológicos, se deben de apreciar no sólo como un conjunto de eventos sorprendentes e interesantes, ni como una agricultura alternativa sino como el resultado de una cultura agrícola adaptada a condiciones físicas, bióticas y culturales propias. Por ello, el centro de interés de los estudios agroecológicos lo constituyen las comunidades rurales que practican la agricultura tradicional, principalmente de autoconsumo y subsistencia (Gliessman, 2002).

Además, la agroecología ha contribuido con la transformación social a través de las prácticas agroecológicas, que tienen como propósito la conservación de los recursos naturales y la producción de alimentos (Toledo y Castillo, 1999); por ello, la agroecología bajo un enfoque de producción, promueve el uso de semillas locales, conservación de suelos, uso de abonos orgánicos, abonos verdes y de cobertura, así como la disminución de los insumos externos al agroecosistema.

En ese sentido, el agroecosistema constituye la unidad conceptual de estudio de la agroecología y se le define como la unidad de estudio y práctica de la actividad agrícola, en sentido amplio, bajo un enfoque holístico, es el lugar donde actúan e interactúan los factores tecnológicos, socioeconómicos, agronómicos y ecológicos para la generación de alimentos y otros satisfactores del ser humano, a través del tiempo y espacio (Mariaca, 1994), además de considerarlo como la unidad fundamental para el desarrollo agrícola estando sujeto a diagnóstico, a un diseño y a una evaluación que a través del tiempo se modifica. Los agroecosistemas son ecosistemas naturales modificados, cuyo objetivo principal es la obtención de alimentos y solo puede ser estudiado bajo el enfoque agroecológico, al analizarse bajo esta concepción la conservación y mejoramiento de los recursos naturales es central para la producción presente y futura de alimentos (Ruiz, 1995 y CATIE<sup>1</sup>, 1985).

El estudio de los agroecosistemas es complejo, debido a las alteraciones provocadas a los ecosistemas naturales, al respecto Marten (1988) propone una forma de analizarlos bajo la concepción de las propiedades emergentes (productividad, estabilidad, sostenibilidad, autonomía y equidad) sin que se pierda las relaciones entre ellos como un todo. Dichas propiedades se definen de la siguiente manera:

**Productividad.** Es la cantidad de alimento, fibra o combustible que un agroecosistema produce para el ser humano (Marten, 1988); incluyendo aspectos sociales como la generación de empleo, valor recreativo o estético o diferentes productos difíciles de medir en términos de bienestar social, psicológico y espiritual (Conway, 1990).

**Estabilidad.** Consistencia o continuidad de la producción ante las fluctuaciones y ciclos del ambiente (Marten, 1988 y Conway, 1990).

**Sostenibilidad.** Mantenimiento de la producción y productividad a un nivel específico a largo plazo (Marten, 1988). Habilidad para mantener la productividad frente al estrés o shock (Conway, 1990).

**Equidad.** Distribución equitativa de la productividad del agroecosistema entre los beneficiarios humanos (Conway, 1990).

**Autonomía.** Autosuficiencia del agroecosistema (Marten, 1988).

---

<sup>1</sup> Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

## 2.2 Tipificación de productores y caracterización del agroecosistema maíz

La heterogeneidad que existe en un agroecosistema de una región es una consecuencia de las diferencias biofísicas, socioeconómicas y técnicas de los productores y de sus unidades de producción, que le otorgan a cada uno características y problemáticas propias (Valerio *et al.*, 2004), además de dificultar la toma de decisiones y la aplicación de políticas agrícolas de manera transversal. A partir de dichas diferencias y relaciones es como cobra relevancia la clasificación y la tipificación de los productores y las unidades de producción, para unificar grupos con rasgos similares (Bravo *et al.*, 2018).

En ese sentido, la tipificación es el establecimiento y construcción de grupos con base en los rasgos de los productores observados en la realidad (Jaramillo, 1997) y caracterización de los productores es la descripción de las peculiaridades principales y de las interrelaciones múltiples de los productores (García *et al.*, 2008). Al respecto, Escobar y Berdegué (1990) mencionan que el adecuado conocimiento de las circunstancias del pequeño productor es la piedra de toque de todo el proceso de investigación y transferencia de tecnología, para que esta sea elaborada a la medida de dichas circunstancias y de sus limitaciones y posibilidades. Por ello, es indispensable identificar las distintas combinaciones de dichas determinantes, expresadas en los distintos tipos o clases de unidades de producción.

También la tipificación identifica grupos de productores de acuerdo a la cantidad de energía que utilizan en el agroecosistema sin importar el cultivo que manejen en la zona, cuenca, municipio y comunidad. En ese sentido, Purroy *et al.* (2016) indican que una clasificación adecuada de los agroecosistemas permite establecer un plan de manejo para elevar la sustentabilidad y resiliencia, lo que puede incrementar la rentabilidad económica de la actividad y la creación de empleos. Por ello, los agroecosistemas deben proporcionar una producción rentable y sostenida a lo largo del tiempo, a través del uso eficiente de los recursos naturales y económicos, sin desperdicio ni detrimento de los mismos (Cruz y Jaramillo, 2016). En este sentido, Macías (2013) y Santos *et al.* (2014) indicaron que es importante considerar la relación e interacción de los componentes del cultivo sobre la producción y el uso eficiente de la energía utilizada. Por ello, la tipología es el estudio de los tipos o grupos que se usan para clasificar en diversas ciencias o disciplinas científicas, en este caso para clasificar agricultores por su forma de manejo tecnológico, esto permite conocer las técnicas que los productores realizan en el agroecosistema, así como la eficiencia energética y económica, todo esto como la antesala de la evaluación de la sustentabilidad del agroecosistema maíz (Purroy *et al.*, 2019).

Existen diferentes métodos para llevar a cabo la tipificación de productores entre los que destacan los análisis multivariados y los univariados. Estos métodos pueden ser clasificados de acuerdo al número de criterios de clasificación en que están basados. Los métodos multivariados pueden ser clasificados según sean unidimensionales o multidimensionales. El carácter multidimensional de una clasificación multivariada está dado por el peso de dos conceptos: el de jerarquía de sistemas y el de integralidad de los sistemas (Coronel y Ortuña, 2005).

Un método puede ser multivariado en un sentido estadístico, pero puede que no sirva para recoger información referida a las relaciones interjerárquicas (de una finca con los mercados, del clima con los rendimientos del cultivo, etc.) ni sobre las fuerzas físico-biológicas, socioeconómicas y culturales que están en la base de la estructura, el funcionamiento y la dinámica de un sistema agrícola (Purroy *et al.*, 2019 y Vilaboa *et al.*, 2009).

Las clasificaciones de fincas según criterios univariados fueron utilizadas antes del desarrollo del enfoque de sistemas y de la estrategia de investigación en fincas de los agricultores, y son todavía frecuentes (Bolaños, 1999 y Aduriz *et al.*, 2003). Las técnicas estadísticas multivariadas exploratorias nos permiten establecer las tipologías y las asociaciones de las variables cualitativas con las tipologías (análisis factorial de correspondencia) y el análisis a componentes principales nos permite reducir las variables y se crean nuevas variables que se incorporan a los análisis y permiten obtener conglomerados que establecen los grupos más representativos de la zona. Los análisis univariados permiten establecer diferencias estadísticas entre grupos, estos estudios pueden ser a través del análisis de varianza, comparaciones de medias y correlaciones.

Las implicaciones positivas que tiene las tipologías hacia el agroecosistema son diversas; nos permite conocer a través de una muestra de una población y podemos generalizar los hallazgos a esa población. Esta fase es importante en el estudio de los agroecosistemas porque es la fase de diagnóstico, la cual nos ayuda a conocer los componentes del sistema, las interacciones, los flujos de energía y los actores que intervienen en ella. Todas estas fases son necesarias para comprender y entender el agroecosistema de una manera holística (Ruiz, 1995).

### **2.2.1 Agroecosistema maíz**

El agroecosistema maíz es el cultivo más importante en México, por ser un alimento básico en la dieta y una de las fuentes de ingresos para la familia del agricultor. Este cultivo ocupa el tercer lugar a nivel mundial solo después del trigo y el arroz, por su

fácil adaptabilidad a las diversas condiciones climáticas que van desde el ecuador hasta los 50° hacia ambas latitudes, y en lo referente a la altitud este se produce desde 0° a los 4000 metros sobre el nivel del mar (FIRA, 2017).

México ocupó el 7° lugar en volumen de producción a nivel mundial con 27'228,242.42 toneladas (SIAP, 2019) y Chiapas es un Estado productor de este cereal, destacando entre los 10 mejores productores a nivel nacional con un volumen de producción de 1'255,419.51 toneladas (SIAP, 2019).

El agroecosistema maíz es muy diverso, por las diferentes tecnologías que se emplean en el proceso de producción que pueden ser de la forma convencional, tradicional, conservación, subsistencia entre otras (Tilman *et al.*, 2002). Thomas *et al.* (1984) mencionan que la labranza cero posee características que pueden contribuir a desarrollar una agricultura eficiente y sustentable, con lo cual coinciden Vega y Muñoz (2014) quienes mencionan que el maíz como monocultivo en labranza cero tiene mayor rendimiento, con menos costos de producción y menor riesgo a la inversión, también Santacruz (2008) afirma que la agricultura convencional conlleva a una menor rentabilidad económica, debido a que el laboreo requiere elevadas inversiones al tener que hacer uso de grandes cantidades de combustible fósil.

### **2.3 El paradigma de la sustentabilidad**

La sustentabilidad es un proceso socio-ecológico caracterizado por un comportamiento en busca de un ideal común. Un ideal es un estado o proceso que se busca en el tiempo/espacio, pero infinitamente aproximable y es esta aproximación continua e infinita la que inyecta sustentabilidad en el proceso. Solo los ideales sirven de referentes en un ambiente turbulento y cambiante (Astier *et al.*, 2008). Es un término ligado a la acción del hombre con relación a su ambiente, se refiere al equilibrio que existe en una especie basándose en su entorno y todos los factores o recursos que tiene para hacer posible el funcionamiento de todas sus partes, sin necesidad de dañar o sacrificar las capacidades de otro medio (Masera *et al.*, 2000). Por otra parte, sustentabilidad en términos de objetivos, significa satisfacer las necesidades de las generaciones actuales, pero sin afectar la capacidad de las futuras, y en términos operacionales, promover el progreso económico y social respetando los ecosistemas naturales y la calidad del ambiente (Astier y Hollands, 2005 y Rivera *et al.*, 2017).

La sustentabilidad es un concepto que resume los esfuerzos para lograr el desarrollo, productividad y utilidad social a largo plazo (Rigby y Cáceres, 2001 y Knaggard *et al.*, 2018). Por otra parte, Edwards (1993) establece que la sustentabilidad es un proceso fácilmente medible a nivel de finca o comunidad, pero crecientemente difícil a escalas

mayores. La sustentabilidad se define por un conjunto de requerimientos que deben ser enfrentados por cualquier finca, a pesar de las amplias diferencias de la situación prevaleciente.

El paradigma de la sustentabilidad se refiere a buscar un equilibrio entre lo ecológico, lo económico y lo social para lograr mantener la producción de un sistema de manera constante en el tiempo y disminuyendo el impacto negativo que puedan tener sobre los recursos de la zona (García-Rojas, 2015 y Killion *et al.*, 2018).

## **2.4 Metodologías de evaluación de la sustentabilidad**

La importancia de evaluar la sustentabilidad de los sistemas de producción tiene que ver no sólo con conocer su estado en un momento determinado, sino también con la posibilidad de mejorarlo, proyectándolo al futuro (Nastar *et al.*, 2018). Una de las grandes dificultades para evaluar la sustentabilidad es la falta de acuerdo sobre la manera de compaginar evaluaciones económicas, a partir de criterios sociales y ambientales, de hecho, varios estudios argumentan que la utilidad de las clásicas evaluaciones económicas, con herramientas como el análisis de costo-beneficio, es limitada; y al quedarse corta frente a los problemas ambientales y sociales, se hace necesario un enfoque que permita un análisis agregado de la información (Kumaraswamy, 2012 y Astier *et al.*, 2011).

La evaluación de sustentabilidad de agroecosistemas y fincas, generó diversas metodologías para evaluar el grado de sustentabilidad y facilitar la toma de decisiones para cumplir con el objetivo del desarrollo sustentable (Cisneros, 2016). A nivel de finca se han utilizado distintas metodologías para evaluar la sustentabilidad, desde unas muy detalladas hasta solo aplicables a condiciones experimentales, a otras muy generales que pasan desde la simple toma de datos a nivel de campo, usando encuestas y entrevistas hasta llegar a la predicción mediante ecuaciones de regresión y modelos de simulación (Gutiérrez *et al.*, 2008 y Cortés y Peña, 2015).

Algunos autores como Andersen *et al.* (2013) clasifican estos enfoques entre los que emplean métodos económicos de valoración, los enfoques monetarios, los no monetarios y métodos que integran indicadores de diferentes tipos. En tal sentido, Astier *et al.* (2008) plantean que en general se pueden agrupar todas las iniciativas desarrolladas hasta ahora para evaluar la sustentabilidad en tres grandes grupos afines.

1. Los que plantean listados de indicadores aislados para evaluar sustentabilidad en las dimensiones ambiental, social y económica de manera desarticulada.

2. Los que proponen índices que agrupan datos de diversos indicadores en uno solo. Estos (agregaciones de indicadores) son actualmente usados para analizar la sustentabilidad de diversas prácticas a nivel de finca. Por ejemplo, el índice de sustentabilidad energética de cultivos, el índice de manejo ambiental de la agricultura, el índice de vulnerabilidad ambiental, el índice de salud del agroecosistema, entre otros.

3. Por último está el grupo de métodos que crearon marcos de evaluación como referentes analíticos para la generación de los indicadores a partir de las propiedades de sustentabilidad de los sistemas de producción.

El marco para la evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS), hace énfasis en el contexto de los productores campesinos y en el ámbito local, desde la parcela hasta la comunidad, además se propone como un proceso de análisis y retroalimentación. Es decir, busca entender de manera integral las limitantes y posibilidades para la sustentabilidad de los sistemas de manejo que surgen de la intersección de procesos ambientales con el ámbito social y económico, presenta una estructura flexible para adaptarse a diferentes niveles de información y capacidades técnicas disponibles localmente y constituye una herramienta en desarrollo (Masera *et al.*, 2000).

De forma particular el MESMIS, presenta una estructura flexible que ha permitido su adaptación a diferentes sistemas de producción tanto campesinos, comerciales y mixtos, así como a otros sistemas de manejo de recursos naturales, bajo diversas condiciones económicas, técnicas y de acceso a la información, llegando a ser utilizado en más de 60 casos de estudio en México, Centroamérica, Sudamérica, Europa y Estados Unidos, por lo cual representa una alternativa viable para su aplicación en los sistemas de manejo del trópico mexicano (Martínez *et al.*, 2015).

Este marco de referencia considera cinco atributos para la evaluación como son equidad, productividad, estabilidad (resiliencia y confiabilidad), adaptabilidad y autodependencia (autogestión), los cuales pueden ser empleados en diferentes evaluaciones como son entre sistemas de producción, escala espacial y a escala temporal los cuales son totalmente válidos. Además, Masera *et al.* (2000) mencionan que los indicadores son herramientas que describen un proceso específico o un proceso de control y por lo tanto, son particulares a los procesos de los que forman parte.

## 2.5 Construcción de escenarios

Un escenario no es una predicción, sino una descripción de lo que podría suceder. Los escenarios exploran lo posible, no solo lo probable, y retan a quienes los utilizan a pensar más allá de la ortodoxia. Afianzan la toma de decisiones porque ofrecen una mirada al alcance de lo posible. Además, pueden ilustrar la función de las actividades humanas en la definición del futuro y los vínculos entre problemáticas como los patrones de consumo, el cambio ambiental y los impactos humanos (Conill *et al.*, 2011). Sin embargo, existen otras metodologías como el modelaje los cuales son una representación simplificada de un sistema, donde se describen las variables dependientes e independientes de interés, características y restricciones mediante símbolos, diagramas y ecuaciones (Martínez, 2011).

Estos modelos pueden ser descriptivos o de simulación, en los primeros únicamente se representan los componentes del sistema, mientras que en el segundo se imita el funcionamiento del sistema y se obtienen resultados predictivos, en forma de datos numéricos o gráficos (FAO<sup>1</sup>, 2018). En el ámbito científico, los modelos se han empleado en diferentes disciplinas, logrando mejorar el conocimiento de las características y el funcionamiento de los sistemas o elementos evaluados. Conocer mejor el problema se ha mejorado en el planteamiento y fundamentación de hipótesis de investigación (Ortega, 2018). Por otro lado, para el manejo y planificación de los sistemas, el uso de modelos permite una representación anticipada de la administración y uso de los componentes y recursos, así como la adición, sustracción o modificación de interacciones y relaciones (Gordillo, 2018).

También podemos encontrar a los simuladores de escenarios socioambientales basados en historias ficticias. Estas historias representan versiones estilizadas de situaciones posibles, y han sido construidas con base en la experiencia empírica de los autores y en la revisión de literatura. Su propósito es fundamentalmente didáctico. Son relativamente simples y esquemáticas para hacerlas manejables como ejercicios, pero contienen suficientes elementos e interacciones no lineales como para confrontar a los usuarios con algunos de los desafíos de la evaluación integral y del manejo sustentable de los recursos naturales en territorios campesinos (Astier *et al.*, 2008).

Los simuladores contienen varios modelos dinámicos, pero no requieren que el usuario tenga conocimientos de modelación ni de matemáticas avanzadas. Estos simuladores están ampliamente ilustrados y acompañados de textos y tutoriales. Estas herramientas se han utilizado en talleres locales, nacionales e internacionales dirigidos

---

<sup>1</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

a estudiantes de posgrado, técnicos, investigadores, líderes de organizaciones de productores, y funcionarios de gobierno. Los resultados didácticos han sido muy favorables (García-Barrios *et al.*, 2007). Estos simuladores han sido diseñados como parte del proyecto MESMIS, para la simulación de agroecosistemas sustentables.

Sin embargo, el uso formal de los escenarios se remonta a la segunda posguerra como método para el análisis de juegos de estrategias (Pengue, 2014). Su valor fue reconocido muy pronto y se difundió su uso en otras aplicaciones de planificación estratégica. En la actualidad, el desarrollo de escenarios está presente en una amplia variedad de contextos, desde la toma de decisiones políticas hasta la planificación de negocios y de las evaluaciones ambientales mundiales a la gestión comunitaria local (Sonder, 2018).

Las metodologías tradicionales de análisis de tendencias y los modelos de simulación son herramientas poderosísimas para proyectar cambios, sobre todo cuando se trata de procesos físicos o biológicos. Pero su valor disminuye cuando los procesos son complejos, con múltiples interacciones y cuando involucran fenómenos sociales. Para ello, tienen ventajas las metodologías de escenarios, que se fundamentan en premisas bien diferentes. Los escenarios no son predicciones sino visiones o historias coherentes de varios futuros, quizás con distintas posibilidades de ocurrencia, pero todos posibles (Puentes, 2009).

La metodología de los escenarios no requiere seguir un procedimiento fijo, aunque en general se respetan ciertas reglas que han demostrado ser útiles en el pasado (Tapia, 2016). Por otro lado, el método necesita adaptarse al contexto particular en el que se aplique. La experiencia ha mostrado que como los interesados utilizan estos escenarios con el fin de diseñar una estrategia, algunos encuentran ciertos escenarios particulares más atractivos que otros (Aguilar, 2014). Entonces estos tienden a convertirse en un fin por sí mismos. En otras palabras, se termina desarrollando una determinada estrategia para hacer posible ese escenario particular elegido (Vázquez *et al.*, 2015). Aunque esto puede ser un camino válido en algunas circunstancias, lo interesante del enfoque es que permite desarrollar estrategias que puedan resultar eficaces para diferentes escenarios y no para uno solo (Vergara *et al.*, 2010). Las herramientas para el diseño de escenarios son utilizadas en diferentes ámbitos de las ciencias; por ello, en las ciencias agropecuarias es importante contar con estos métodos porque nos proyectan hacia el futuro de posibilidades que podemos encontrar en un agroecosistema u otro sistema. Estos hechos pueden ser verificados y sustentados, para generar nuevos conocimientos.

La generación de nuevos conocimientos a través de los escenarios, permite retroalimentar el sistema, con cambios en las diversas prácticas tecnológicas que se emplean en el proceso de producción. Sin embargo, cuando no hacemos esos cambios en el sistema, podemos tener sistemas deficientes y poco sustentables. Por ello, las tendencias pasadas y presentes nos permiten contar con información para hacer los cambios pertinentes en el agroecosistema; por lo tanto, los escenarios son de gran ayuda metodológica para tener una visión del futuro del agroecosistema actual y futuro (Tapia, 2016).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización del área de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en la región VI Frailesca del estado de Chiapas, la cual se localiza entre la llanura costera del Océano Pacífico y la Depresión Central del estado, y está conformado por los siguientes municipios, Villaflores, Villa Corzo, La Concordia, Ángel Albino Corzo, Montecristo de Guerrero y El Parral (Figura 1). Se caracteriza por su importante actividad agrícola, en especial por su alta producción de maíz. Esta región presenta climas de los grupos cálidos y semi-cálidos. Predomina el cálido subhúmedo con lluvias de verano, seguido por el clima semi-cálido húmedo, con lluvias abundantes en verano. Durante los meses de mayo a octubre presenta una temperatura mínima promedio que oscila entre los 12 °C y hasta los 21 °C. La precipitación pluvial en estos meses oscila entre los 1,000 mm y 2,600 mm (INEGI<sup>1</sup>, 2012).



Figura 1. Localización del área de estudio. Región Frailesca, Chiapas.

#### 3.2 Desarrollo de la investigación

Se utilizó la metodología de investigación interdisciplinaria con enfoque económico, social y ambiental según Guevara (2007), y Rodríguez y Guevara (2009), con enfoque sistémico (Chambers, 1993) y contempló tres etapas: 1) Tipificación de productores de maíz y caracterización del agroecosistema maíz desde el punto de vista energético, económico y calidad del suelo, 2) Evaluación de la sustentabilidad del agroecosistema maíz, utilizando como herramienta metodológica el Marco para la Evaluación de

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) y 3) Construcción de escenarios exploratorios del agroecosistema maíz.

### **3.2.1 Tipificación de productores de maíz**

Se realizó una tipificación de productores de maíz con criterios de sustentabilidad y desde el punto de vista socio-agronómico, para ello fue necesario contar con el padrón de productores de maíz de la región Frailesca, el cual se solicitó a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) con cabecera distrital en el municipio de Villaflores, Chiapas. En la región se reportaron 11, 888 productores para el año 2017, quienes cultivaron aproximadamente 59,739 hectáreas y el sistema agrícola está basado en el temporal. Se utilizó un muestreo aleatorio simple y para el cálculo del tamaño de muestra se utilizó la fórmula de Scheaffer *et al.* (2004), resultando  $n=300$  productores, los cuales fueron tipificados bajo las tres dimensiones de la sustentabilidad (ambiental, económica y social).

Para la recolección de datos se utilizó como herramienta las entrevistas semiestructuradas, las encuestas y recorridos de campo. Las variables de diferenciación fueron: cantidad de tierra sembrada, uso de mano de obra, destino de la producción, tipo de semilla que utiliza, cantidad de fertilizante, herbicida, insecticida, uso de maquinaria y prácticas de conservación de suelo.

### **3.2.2 Caracterización del agroecosistema maíz**

Se hizo un análisis sistémico, tomando en cuenta los componentes del agroecosistema maíz, las entradas y salidas del mismo, así como las relaciones entre dichos componentes (Guevara *et al.*, 2011). Se empleó el calendario de actividades agrícolas para describir las labores que se realizan en cada forma de manejo, de acuerdo con la metodología descrita por Geilfus (1997) y tomando como referencia el ciclo de producción anual. Este estudio fue transversal y comparativo entre las formas de manejo que predominan en la zona de estudio.

#### **3.2.2.1 Eficiencia energética y económica**

La región Frailesca fue seleccionada por ser una de las regiones del estado de Chiapas con mayor producción de maíz. En dicha región, el agroecosistema maíz es la base productiva de las familias y se complementa con la ganadería bovina y animales menores. La producción de maíz puede ser en monocultivo o asociado a otros cultivos.

Existen diferentes tecnologías para la producción de maíz de acuerdo a los insumos utilizados y las diversas prácticas que se desarrollan, estas variantes tecnológicas se les denominó formas de manejo para la producción de maíz, seleccionando la convencional, mixto y agroecológico, que fueron las variantes tecnológicas encontradas en la tipificación de productores. El sistema convencional se basa en el uso intensivo de productos químicos y semillas mejoradas (Guevara *et al.*, 2018 y Delgado, 2017). El sistema mixto hace uso de productos químicos y semillas locales y el sistema agroecológico, basa su producción en el uso de la mano de obra de manera más intensiva, semillas locales y utiliza prácticas para la conservación del suelo. Para ello, se seleccionaron 35 unidades de producción (11 Convencionales, 9 Agroecológicas y 15 Mixtas) para el estudio exploratorio y descriptivo del comportamiento de la eficiencia energética y económica, además de su análisis sistémico. La forma de elección de dichos productores fue de acuerdo a sujetos tipo (Hernández *et al.*, 2014); es decir, productores que tienen las mismas características de cada forma de manejo, con la finalidad de seleccionar sistemas representativos de las tipologías definidas en la etapa anterior. Esto representó un total de 35 casos distribuidos en 28 comunidades de la región.

Se empleó el método de análisis descrito por Meul *et al.* (2007), Funes (2009) y Cervantes (2016) que cuantifican las entradas energéticas culturales y salidas de productos del sistema; luego, se expresan en unidades energéticas para analizar los flujos y realizar los balances correspondientes. La información documentada fue: superficie del sistema productivo, tipo y cantidad de los alimentos o productos obtenidos y gastos energéticos directos o indirectos de la producción; entre ellos: la fuerza de trabajo humana y/o animal, uso de combustibles, fertilizantes y otros insumos usados en el agroecosistema maíz.

Para el cálculo de la eficiencia económica, se consideró los costos de producción, así como los ingresos por concepto de venta de la cosecha. Con los datos de ingresos y egresos, se calculó la relación Beneficio/Costo como indicador de la eficiencia económica (CIMMYT<sup>1</sup>, 1988).

### **3.2.2.2 Calidad del suelo**

Para estudiar las características físicas, químicas y biológicas de los suelos, en cada parcela seleccionada se realizó un muestreo cinco de oros a una profundidad de 0-20 cm, de acuerdo a lo recomendado por Mendoza y Espinosa (2017) debido a que es donde se desarrolla el mayor porcentaje del sistema radical del maíz. A partir de los muestreos, se obtuvieron 25 submuestras por parcela, se mezclaron y se obtuvo una

---

<sup>1</sup> Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

muestra compuesta, la cual fue enviada al laboratorio del Colegio Postgraduados Campus Montecillos para la determinación de materia orgánica (%), densidad aparente (Da), N-total (Kjeldahl), Capacidad Intercambio Catiónico (CIC) (KCl 2N), textura (arcilla, limo y arena), pH (CaCO<sub>2</sub>), Fósforo (P) (Olsen), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) (NH<sub>4</sub> O ac 1N pH), Plomo (Pb), Zinc (Zn), Hierro (Fe) (DTPA), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Boro (B), Molibdeno (Mo) (KCl 1N) y Niquel (Ni). Para estudiar los indicadores de suelo se utilizó la propuesta de Astier *et al.* (2002) y FAO (2001). La interpretación de las propiedades de los suelos se realizó de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT (DOF<sup>1</sup>, 2002 e INPOFOS<sup>2</sup>, 1988). Los ácidos húmicos, fúlvicos y carboxílicos, se detectaron a través de la técnica de la resonancia magnética (Mosquera *et al.*, 2010 y Rodríguez *et al.*, 2016).

Para determinar la macrofauna del suelo se utilizó la metodología propuesta por Moreira *et al.* (2012) que consiste en un muestreo cinco de oros. En cada parcela se obtuvieron cinco submuestras de 25 x 25 x 10 cm y se tomó una muestra compuesta de 3 kg de suelo por parcela estudiada. Posteriormente se tamizó el suelo de cada muestra con mallas de 2, 0.841 y 0.420 mm y se tomaron por malla 50 g de suelo para verificarse a través de un estereoscopio, la existencia de seres vivos, que fueron clasificados de acuerdo al phylum y orden.

Para estimar la diversidad de la macrofauna y microorganismos del suelo se utilizó el índice de Shannon y Weaver (1949) (H') que estima la diversidad específica. Este índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza de especies) y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (abundancia) (De la Rosa y Negrete, 2012).

### 3.2.3 Evaluación de la sustentabilidad

Para la evaluación de la sustentabilidad se utilizó un muestreo no probabilístico a través de sujetos tipo (Hernández *et al.*, 2014); es decir, productores que tienen las mismas características de cada forma de manejo, determinados en la etapa de tipificación de los productores, esto con la finalidad de seleccionar sistemas representativos de las tipologías. Esto representó un total de 35 casos distribuidos en 28 comunidades para la evaluación del agroecosistema (11 convencionales, 9 agroecológicos y 15 mixtos). Se utilizó como herramienta metodológica el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) propuesto por Masera *et al.* (2000) en donde se establecen los atributos, los puntos críticos del sistema, los criterios de diagnóstico e

---

<sup>1</sup> Diario Oficial de la Federación

<sup>2</sup> Instituto de la Potasa y el Fósforo

indicadores estratégicos, así como su área y método de determinación. La evaluación de la sustentabilidad de las tres formas de manejo es de carácter comparativo transversal.

El MESMIS integra seis elementos generales: 1) determinación del objeto, 2) determinación de los puntos críticos, 3) selección de indicadores de sustentabilidad, 4) edición y monitoreo (colección de datos en campo), 5) presentación e integración de resultados y 6) conclusiones y recomendaciones. Los atributos o propiedades considerados en el MESMIS fueron a) productividad, b) Estabilidad, confiabilidad y resiliencia, c) adaptabilidad, d) equidad y e) autodependencia (autogestión) (Masera *et al.*, 2000).

### **3.2.3.1 Objeto de estudio**

Se determinó como objeto de estudio a las formas de manejo (convencional, agroecológico y mixto) del agroecosistema maíz. Se llevan a cabo en un ciclo anual, y se sustentan en el temporal de lluvias; es decir, aprovechan la época de precipitación pluvial comprendida de los meses de junio a diciembre. Se emplean técnicas de laboreo tradicionales con el uso de herramientas típicas como la coa, el azadón, machete y equipos sencillos como las aspersoras para la aplicación de productos químicos, al mismo tiempo en la cosecha emplean máquinas desgranadoras de maíz.

### **3.2.3.2 Puntos críticos y selección de indicadores**

Se realizó un análisis del sistema de producción y manejo del cultivo de maíz para identificar los procesos o aspectos que limitan o fortalecen su sustentabilidad, y relacionarlos con los atributos definidos por el MESMIS. En la determinación de los puntos críticos se incluyó todas las dimensiones de la sustentabilidad (ambiental, económico y social). Los indicadores se definieron considerando las seis fases metodológicas sugeridas por Masera *et al.* (2000). Se seleccionaron los criterios de diagnóstico, a través de la definición de indicadores de sustentabilidad, de manera que permitan determinar los sistemas más sustentables, aquellos que muestran integralmente mayor cantidad de indicadores cercanos al óptimo.

Para la evaluación de la sustentabilidad del agroecosistema maíz con sus variantes tecnológicas (convencional, agroecológico y mixto) se emplearon un total de 25 indicadores (12 ambientales, nueve sociales y cuatro económicos) (Cuadro 1). Para los indicadores sociales y económicos la recolección de datos se utilizó encuestas, entrevistas semiestructuradas y recorridos en las parcelas de los productores. Con respecto, a los indicadores ambientales se muestreo el suelo de las parcelas,

determinándose pH, Densidad aparente (Da), Materia orgánica (M.O.), Capacidad intercambio catiónico (CIC), textura, Nitrógeno Total (N), los cuales fueron analizados en el Laboratorio de Fertilidad del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. La macrofauna del suelo se determinó de acuerdo con la metodología propuesta por Moreira *et al.* (2012).

Cuadro 1. Atributo, criterios de diagnóstico e indicadores para la evaluación del agroecosistema maíz de la región Frailesca de Chiapas, México.

Atributo o propiedad del agroecosistema	Criterio de diagnóstico	Indicador estratégico	Método de evaluación	Área de evaluación
Productividad	Eficiencia	1. Rendimiento (kg/ha <sup>-1</sup> )	CIMMyT, 2012	A
		2. Eficiencia energética (EP/EC)	Funes (2009)	A
		3. Relación beneficio/costo	CIMMyT (1988)	E
		4. Rendimiento energético (kg.MJ <sup>-1</sup> )	Funes (2009)	A
		5. Energía producida (MJ.ha <sup>-1</sup> )	Funes (2009)	A
		6. Intensidad energética (MJ.kg <sup>-1</sup> )	Funes (2009)	A
		7. Personas alimentadas en base a maíz (ha)	Funes (2009)	S
		8. Personas alimentadas en base a proteína (ha)	Funes (2009)	S
Estabilidad, resiliencia y confiabilidad	Calidad del suelo	9. Macrofauna del suelo	Moreira <i>et al.</i> 2012	A
		10. Microorganismos del suelo	Técnica de resonancia magnética	A
		11. pH	CaCO <sub>2</sub>	A
		12. Capacidad intercambio catiónico (CIC)	Método de Acetato de Amonio 1N pH 7	A
		13. Nitrógeno total (%)	Kjeldahl	A
		14. Materia orgánica (%)	Walkley-Black	A
		15. Densidad aparente	Método de la parafina	A
	Diversidad en el tiempo y espacio de vida	16. Policultivos	Entrevistas y encuestas	A
		17. Rotación de cultivos		E
		18. Productores sanos	Entrevistas y encuestas	S
Adaptabilidad	Capacidad de cambio e innovación	19. Innovación a tecnologías	Entrevistas y encuestas	S
		20. Evolución del número de productores por sistema	Entrevistas y encuestas	S
Equidad	Distribución de costos y beneficios	21. Canales de comercialización del maíz	Entrevistas y encuestas	E

Autodependencia (Autogestión)	Autosuficiencia y control	22. Tipo de propiedad	Entrevistas y encuestas	S
		23. Grado de dependencia de insumos externos	Entrevistas y encuestas	S
		24. Nivel de autofinanciamiento	Entrevistas y encuestas	S
		25. Origen de la semilla	Entrevistas y encuestas	E

S: Social E: Económico A: Ambiental

### 3.2.4 Construcción de escenarios

Para la construcción de los escenarios se utilizó la metodología propuesta por Puentes (2009) y Tapia (2016), que consiste en el análisis de la problemática del agroecosistema maíz, la búsqueda de variables claves, el análisis de actores para el agroecosistema, el análisis morfológico de los criterios de selección de las variables y propuestas claves de los expertos (Figura 2). Los escenarios construidos son exploratorios, y parten de tendencias pasadas y presentes, así como de la información obtenida de los actores locales, expertos y académicamente se sustenta en los trabajos de investigación realizados en el área de estudio. Sobre la base de ello, se espera proyectar rutas o espacios futuros verosímiles (Miklos y Arroyo, 2008).

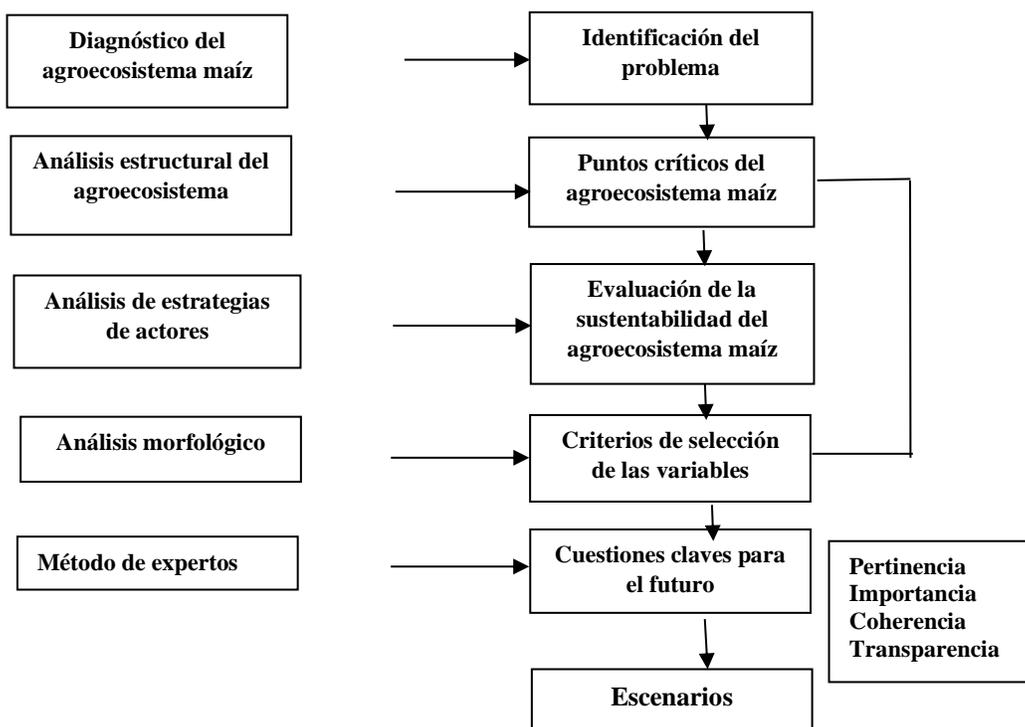


Figura 2. Pasos metodológicos para la construcción de escenarios del agroecosistema maíz. Basado en Tapia (2016).

### **3.2.5 Análisis de la información**

Para todas las variables de tipificación de productores, caracterización del agroecosistema maíz energética y económicamente, el análisis estadístico se realizó con el apoyo de técnicas estadísticas descriptivas, así como, multivariadas exploratorias de componentes principales y conglomerados. Además, se utilizó el análisis de correspondencia múltiple entre las variables para detectar y representar las formas de manejo que predominan en la zona de estudio (convencional, agroecológica y mixta). Por otro lado, para conocer la diferenciación de las formas de manejo en la evaluación de la sustentabilidad y las características físicas, químicas y biológicas de los suelos, se utilizó el análisis de varianza para modelos lineales y así como la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan. Estos análisis se realizaron con el paquete estadístico Statística versión 9.0.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización de productores de maíz e indicadores de sustentabilidad en Chiapas, México

Franklin B. Martínez Aguilar<sup>1</sup>, Francisco Guevara Hernández<sup>2§</sup>, Manuel Alejandro La O Arias<sup>2</sup>, Luis Alfredo Rodríguez Larramendi<sup>3</sup>, René Pinto Ruiz<sup>2</sup>, Carlos Ernesto Aguilar Jiménez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad. Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2666-5863>. Carretera Ocozocoautla - Villaflores Km. 84.5 C.P. 30470 Apdo. Postal 78, Villaflores, Chiapas. franklinmar7820@yahoo.com.mx (FBMA). Tel: 9656521477.

<sup>2</sup> Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Facultad de Ciencias Agronómicas. Carretera Ocozocoautla-Villaflores Km. 84.5 C.P. 30470 Apdo. Postal 78, Villaflores, Chiapas. francisco.guevara@unach.mx (FGH); ceaj2001@yahoo.com.mx (CEAJ); pinto\_ruiz@yahoo.com.mx (RPR); pacholaoarias@gmail.com (MAIO). Tel: 9656553272.

<sup>3</sup> Profesor-Investigador de Facultad de Ingeniería, Sede Villa Corzo. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). Carretera Villa Corzo-Monterrey Km 3, Villa Corzo CP 30520, Villa Corzo, Chiapas, México. luislarra2012@gmail.com (LAR). Tel: 9616170440

§Correspondencia: francisco.guevara@unach.mx

#### **Artículo científico publicado en el Vol. 11 (5) 2020 de la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas (REMEXCA)**

El artículo de caracterización de productores con indicadores de sustentabilidad, explica una compleja serie de variables socioeconómicas, ambientales y productivas, que determinan la existencia de seis tipos de productores, las cuales conllevan a eficiencias productivas por encima de los datos oficiales reportados para la región. Los rendimientos de maíz se encuentran por encima de la media estatal. En ese sentido, todos los grupos de productores son energéticamente eficientes, característica asociada a la eficiencia productiva y económica del agroecosistema.

Además, en la región se identificaron tres formas de manejo: convencional, agroecológica y mixta. Por ello, los tipos de productores y el manejo facilitan el análisis del contexto actual del agroecosistema y permiten definir posibles estrategias de atención a los productores, en función de su práctica cotidiana. Estos resultados conllevan a estudios más profundos sobre la eficiencia energética y sustentabilidad del agroecosistema maíz y sus formas de manejo en la región. Este artículo atiende al objetivo particular uno, pregunta de investigación e hipótesis uno.

## Caracterización de productores de maíz e indicadores de sustentabilidad en Chiapas, México

Franklin B. Martínez Aguilar<sup>1</sup>, Francisco Guevara Hernández<sup>2§</sup>, Manuel Alejandro La O Arias<sup>2</sup>, Luis Alfredo Rodríguez Larramendi<sup>3</sup>, René Pinto Ruiz<sup>2</sup>, Carlos Ernesto Aguilar Jiménez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad. Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2666-5863>. Carretera Ocozocoautla - Villaflores Km. 84.5 C.P. 30470 Apdo. Postal 78, Villaflores, Chiapas. franklinmar7820@yahoo.com.mx (FBMA). Tel: 9656521477.

<sup>2</sup> Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Facultad de Ciencias Agronómicas. Carretera Ocozocoautla-Villaflores Km. 84.5 C.P. 30470 Apdo. Postal 78, Villaflores, Chiapas. francisco.guevara@unach.mx (FGH); ceaj2001@yahoo.com.mx (CEAJ); pinto\_ruiz@yahoo.com.mx (RPR); pacholaoarias@gmail.com (MAIO). Tel: 9656553272.

<sup>3</sup> Profesor-Investigador de Facultad de Ingeniería, Sede Villa Corzo. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). Carretera Villa Corzo-Monterrey Km 3, Villa Corzo CP 30520, Villa Corzo, Chiapas, México. luislarra2012@gmail.com (LAR). Tel: 9616170440

§Correspondencia: [francisco.guevara@unach.mx](mailto:francisco.guevara@unach.mx)

### Resumen

Actualmente, la información sobre el agroecosistema maíz en la región Frailesca de Chiapas, México, y sus formas de manejo, es insuficiente para atenderlo con estrategias de desarrollo sustentable. En la presente investigación se caracterizó, a través de una tipificación, los productores de maíz y su relación con la eficiencia energética y las formas de manejo de este. Es una investigación descriptiva y exploratoria desde un enfoque socio-agronómico en 300 casos de agricultores, con el apoyo de técnicas estadísticas descriptivas, así como multivariadas exploratorias de componentes principales y conglomerados. Se identificaron seis grupos o tipologías de productores sobre la base de 11 componentes principales que explican el 73% de la variabilidad total. Todos los grupos de productores son energéticamente eficientes, lo que se asocia con la eficiencia productiva y económica del agroecosistema. En cuanto al rendimiento de grano, en todos los grupos de productores, oscila entre 2,8 y 4,0 t ha<sup>-1</sup>. Además, se identificaron tres grandes grupos de sistemas de manejo (convencional, agroecológico y mixto) que realizan los productores de maíz en la región Frailesca, Chiapas.

**Palabras clave:** tipos de productores, maíz, sustentabilidad

### Abstract

The current information regarding the maize agroecosystem in the Frailesca region of Chiapas, Mexico, is insufficient to adequately address it under sustainable development strategies. In this research, through a typification, the farmers and their

relationship with energy efficiency and the maize management forms, were characterized. It is a descriptive and exploratory research from a socio-agronomic approach in 300 farmers-cases, with support of descriptive statistical techniques, as well as exploratory multivariate of main components and conglomerates. Six farmers groups or typologies were identified based on 11 main components that explain 73% of the total variability. All farmers groups are energy efficient, which is associated to the productive and economic efficiency of the agroecosystem. Regarding grain yield, in all farmers groups, it ranges between 2,8 and 4,0 t ha<sup>-1</sup>. In addition, three management strategies were identified (conventional, agroecological and mixed) for the maize agroecosystem in the Frailesca region of Chiapas.

**Keywords: types of producers, corn, sustainability**

### **Introducción**

El maíz es uno de los cereales más importantes del mundo (CNBPA, 2008; Hellin *et al.*, 2013). Su uso se ha extendido hasta la alimentación animal y la obtención de biocombustibles (Ferraro, 2008), lo que ha demandado una mayor producción. En México, su producción incrementó un 88% desde 1980 al 2010, mientras que en superficie sólo incrementó un 3% (SIAP, 2016). Este aumento se ha logrado mediante el mejoramiento genético de las especies y de su manejo a través de métodos modernos que implican el uso de fertilizantes sintéticos, agroquímicos y maquinaria, con la finalidad de obtener mayores rendimientos.

En el estado de Chiapas, en comunidades rurales como las que se encuentran en la región Frailesca, el 88% de los productores utilizan fertilizantes y un 76% usa insecticidas y herbicidas (Aguilar, 2010). Además, el 32% de los productores usan semillas mejoradas, mientras que el 68% usa semillas de origen local, conocidas como criollas (Delgado *et al.*, 2018). Esto muestra que el gasto de energía industrial es alto en comunidades rurales de la región (Guevara *et al.*, 2018). Por otra parte, los altos gastos de energía industrial como parte de las entradas energéticas en el proceso de producción (IDAE, 2009), están estrechamente relacionados con la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

La región Frailesca basa su economía en el sector agropecuario y destaca su rendimiento promedio de maíz con 3,24 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2017) a través de diferentes variantes tecnológicas que utilizan los productores. Por ello, la caracterización del agroecosistema, sobre la base de indicadores sistémicos es muy importante, sobre todo para estudios más detallados en cuanto a la eficiencia energética y económica de cada variante (Mandal *et al.*, 2002; Hellin *et al.*, 2013); así como el análisis de la sustentabilidad que guarda el agroecosistema bajo las tecnologías actuales.

El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar los productores de maíz de la Frailesca, Chiapas, a partir de su tipificación sistémica con criterios de sustentabilidad (productivos, socioeconómicos y energéticos) y sobre la base de la tecnología utilizada con miras a la evaluación del agroecosistema en términos de su eficiencia energética, económica y sustentabilidad.

## Materiales y Métodos

### Localización y características del área de estudio

La investigación se llevó a cabo la región Frailesca en el estado de Chiapas, México. Dicha región está compuesta por los municipios de Villaflores, Villa Corzo, El Parral, La Concordia, Ángel Albino Corzo y Montecristo de Guerrero (Figura 1). Además, es la región de mayor producción de maíz en el estado con un rendimiento promedio de 3,24 t ha<sup>-1</sup> (INEGI, 2012).



**Figura 1. Localización de los municipios del Estado de Chiapas donde se realizó el estudio.**

### Metodología

Se utilizó una metodología de investigación interdisciplinaria con enfoque socio-agronómico y económico (Guevara, 2007), con un análisis sistémico orientado al desarrollo (Chambers, 1993; Hagmann y Guevara 2004) y con un método de aproximación y exploración etno-agropecuaria por rutas o transectos (Hernández, 1985). Se diseñó y aplicó entrevistas y encuestas a 300 productores de 75 comunidades, 45 usuarios en pequeñas propiedades/ranchos y cuatro comercializadores de maíz. Cada encuesta correspondió a 35 variables agrupadas en criterios socioeconómicos, productivos y energéticos (Cuadro 1). Estos últimos relacionados con el uso, producción y eficiencia energética del agroecosistema maíz. Los cálculos se realizaron a partir de las equivalencias que aparecen en el Cuadro 2.

Las variables basadas en el criterio económico agruparon todas aquellas relacionadas con los costos de producción y la comercialización.

**Cuadro 1. Variables más relevantes\* estudiadas para caracterizar y tipificar productores de maíz en la zona Frailesca de Chiapas, México.**

Criterios	Variables
Socioeconómicos	Tipo de propiedad Ingresos por la venta (maíz y rastrojo) Costos de producción
Productivos	Superficie agrícola Superficie ganadera Producción de rastrojo Rendimiento agrícola del maíz
Energéticos	Intensidad energética Rendimiento energético Eficiencia energética

\* Las 35 variables se presentan en el Cuadro 3 con los resultados de componentes principales.

**Cuadro 2. Equivalencia energética de los insumos utilizados y productos utilizados en el análisis.**

Insumo	Unidad	Kcal/unidad	Fuente
Trabajo humano	Horas	250	(Funes, 2001)
Trabajo animal	Horas	1800	(Funes, 2001)
Semilla (en general)	Kg	25714.3	(Perales <i>et al.</i> , 2005)
Diésel	L	9243	(Masera y Astier, 1995)
Gasolina	L	8150	(Masera y Astier, 1995)
Sulfato de amonio (21%)	Kg.	10755	(IDAE, 2009)
Herbicida	L	57000	(Funes, 2001)
Insecticida	L	44000	(Funes, 2001)
Maquinaria		21000	(Masera y Astier, 1995)
Tractor agrícola	Horas	1015.4	(Funes <i>et al.</i> , 2011)
Producto (Maíz, grano seco)	Kg	3656.7	(Funes, 2009)
Frijol	Kg	3322.1	(Funes, 2009)

Se estimó la eficiencia energética del cultivo de maíz de acuerdo con Funes (2009) y se empleó la información de entradas y salidas del agroecosistema obtenida de las entrevistas. En este sentido se consideró la energía directa para el cálculo de las entradas y salidas del sistema (Pimentel, 1980).

**Cálculo de Energía directa (Ed)**

Energía asociada al consumo de combustible ( $E_{dc}$ ) (Mcal/ha.)  $E_{dc} = C_c \times E_{eg}$

$C_c$  es el consumo de combustible (l/ha),  $E_{eg}$  es el equivalente energético del gasóleo (41 MJ/l).

Energía asociada a la mano de obra empleada ( $E_{dh}$ ) (MJ/ha)  $E_{dh} = E_h \times \frac{n_{ob}}{C_{tob}}$

$E_h$  es el equivalente energético del trabajo humano (1,96 MJ/h para el hombre y 1,57 MJ/h para la mujer);  $n_{ob}$  es la cantidad de obreros que participan en una determinada labor y  $C_{tob}$ , la capacidad de trabajo de los obreros agrícolas (ha/h).

Energía asociada a los animales utilizados en labores de tiro ( $E_{da}$ ) (MJ/ha)...  $E_{da} = \frac{E_a \cdot n_a}{C_{ta}}$

$E_a$  es el equivalente energético del trabajo animal (5,05 MJ/h);  $n_a$  es la cantidad de animales que participan en una determinada labor;  $C_{ta}$ , la capacidad de trabajo de los animales (ha/h).

### **Cálculo de la eficiencia energética (Funes, 2001).**

$$E_e = \frac{\sum_{i=1}^S m_i e_i}{\sum_{j=1}^T I_j \times f_j}$$

$E_e$ =Eficiencia energética;

$S$ = Número de productos;

$M$ = Cantidad de producto (Kg);

$e$ = Contenido energético del producto (MJ/Kg)

$T$ : Número de insumos;

$I$ = Cantidad de insumos (Kg);

$f$ =Energía requerida para producir un insumo (MJ/Kg);

Para calcular la energía producida y consumida se utilizó la siguiente fórmula:

$$EP = (\text{Producción} \times CE)/1000$$

$$EC = (\text{Gastos} \times CE)/1000$$

$EP$ =Energía producida.

$EC$ =Energía consumida.

Producción= Rendimiento (Kg ha<sup>-1</sup>)

Gasto= Gasto de insumos.

$CE$ = Contenido energético según la equivalencia energética que se muestra en Cuadro 1 en Kcal/unidad de medida.

### **Procesamiento estadístico**

Para reducir la dimensionalidad de las variables de estudio se aplicó un análisis de componentes principales (Escobar y Berdegué, 1990) en el que se extrajeron los componentes con autovalores superiores a uno. Los componentes extraídos se

consideraron nuevas variables y se emplearon en el análisis de conglomerados para establecer grupos de sistemas de producción con características similares o tipologías. Para el análisis de conglomerados se empleó el método de Ward y la Distancia Euclidiana.

Para realizar la caracterización de las tipologías se transformaron las puntuaciones factoriales, a través de la ecuación 1 y se expresaron en relación proporcional con respecto al potencial observado en el contexto de la muestra de sistemas estudiados (ecuación 2).

$$xt_i = x_i - [0 - \text{mínimo}(x)] \quad (1)$$

$$x_p = \frac{xt_i}{\text{máximo}(xt)} \quad (2)$$

Se realizaron análisis factoriales de correspondencias múltiples para establecer asociaciones entre las tipologías definidas y las variables cualitativas relacionadas con el contexto y manejo de los sistemas (municipio, tipo de propiedad, tipo de sistema, tipo de variedad, preparación de suelos y orografía). Se utilizó el software Statistica (StatSoft, 2007).

### Resultados y discusión

El análisis factorial de componentes principales (AFCP) permitió la definición de 11 componentes o factores que extrajeron el 73.77% de la varianza total. De las 35 variables incluidas en el análisis sólo las relacionadas con los costos de control de malezas, costos del desgrane, costos de la venta del maíz en grano y la relación beneficio costo (B/C) no se relacionaron con ninguna de las componentes, lo cual significa que son variables comunes para todos los casos y no contribuyen a la tipificación de los grupos de productores de maíz de la zona estudiada (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Componentes principales, y por ciento de la varianza extraída y acumulada.**

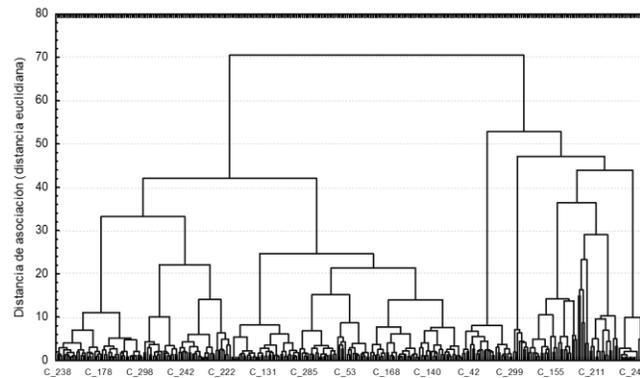
Componente	Variables asociadas (correlación con la componente)	Autovalor	% Varianza explicada	% Varianza acumulada
I. Flujos financieros asociados al elote y costos de material verde y riego	Ingresos elote (0.94), Costo riego (0.98), Costo cosecha elote (0.98), Costo acarreo de elote (0.98), Costo de colecta de material verde (0.99)	5.11	0.15	15.76
II. Superficie cultivada de maíz e ingresos	Superficie agrícola (0.90), Superficie maíz (0.92), Ingresos Maíz Grano (0.84), Ingresos Rastrojo (0.71), Ingresos totales (0.85)	4.05	0.12	28.44
III. Consumo e intensidad energética	energía directa (0.89), Intensidad energética (0.90)	2.15	0.06	36.47

IV. Costos de preparación del terreno	Costo rastreo cosecha anterior (0.95), Costo chaporreo (-0.77), Costo aradura (0.94)	2.45	0.07	43.47
V. Costos totales y de fertilización	Costo 1ra Fertilización (0.85), Costo 2da fertilización (0.89), Costo total producción de maíz (0.63)	2.10	0.06	49.31
VI. Costos de ronda y VII. quema	Costo de la Ronda (0.79), Costo de la quema (0.81)	1.81	0.05	54.53
VIII. Eficiencia	Rendimiento (-0.80), Eficiencia energética (-0.74)	2.09	0.06	58.95
IX. Costos de semillas y acarreo de granos	Costo compra de semillas (0.72), Costo acarreo de granos (0.67)	1.46	0.04	62.96
X. Costos de surcado y siembra, saneamiento y cosecha del grano	Costo surcado y siembra (0.66), Costo control de plagas (0.57), Costo cosecha de grano de maíz (0.58)	1.67	0.05	66.84
XI. Superficie no agrícola	Superficie ganadera (-0.71), Superficie forestal (-0.74)	1.51	0.04	70.43
XII. Relación Producción de rastrojo y costo cosecha del elote	Producción de rastrojo (-0.64) Costo colecta de elote (0.71)	1.31	0.04	73.77

Los componentes I, II y III son los que más influyen en la diferenciación de los agroecosistemas. Juntos explican prácticamente el 40% de la variabilidad total. El componente I está muy relacionado con la racionalidad productiva a través de los flujos financieros, representa el nivel de inversiones y retribuciones asociado a la comercialización del elote. Por otra parte, los componentes II y III indican que la producción del grano está más asociada a la superficie cultivada que a los rendimientos y los insumos empleados. La relación inversa observada entre las variables “costo del chaporreo” con las variables, “costos de rastreo de la cosecha anterior” y los “costos de aradura”, se asocia al efecto positivo de la preparación del suelo sobre el control de malezas y como consecuencia la disminución de los gastos en la chapea o chaporreo.

### Tipificación de los productores de maíz

Se conformaron seis tipos de productores a partir de las puntuaciones resultantes del análisis factorial de componentes principales, usando el método de la distancia euclidiana (Figura 2). El grupo II, con 118 productores, fue el más representativo, incluye al 39% de los agricultores entrevistados. Este grupo presenta niveles altos de eficiencia y costos de ronda.



**Figura 2. Tipos de productores de maíz de la región Frailesca de Chiapas, formados a partir de los clústeres del análisis de conglomerados jerárquicos.**

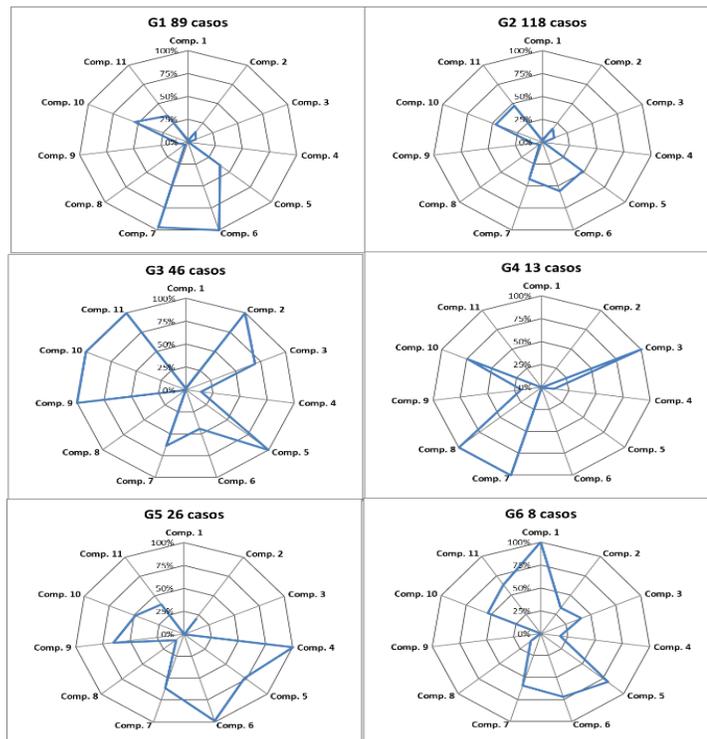
El tipo I incluye 89 productores que se caracterizan por ser eficientes energéticamente y presentan mayores costos de ronda y quema. Presentan valores bajos en flujos financieros asociados al elote (mazorca tierna), costos de la semilla y riego (Figura 3). Poseen pequeñas superficies cultivadas con maíz y con ingresos bajos por este concepto. Muestran un bajo consumo energético y requieren menos energía para producir un kg de maíz. Presentan bajos costos en la preparación del terreno, compra de semilla y acarreo de granos; sin embargo, registran altos costos de chaporreo.

El tipo III está conformado por 46 productores y representa la mayor superficie cultivada y superficie no agrícola. Muestra los mayores ingresos y un alto consumo e intensidad energética, por lo que los productores presentan los mayores costos totales y entre ellos, en la fertilización, saneamiento, cosecha del grano y cosecha del elote.

La tipología IV presenta valores bajos en los flujos financieros asociados a la producción de elote (maíz tierno), costos de semilla y acarreo de granos. Poseen pequeñas superficies cultivadas y con bajos ingresos por la venta del maíz. Presentan una mayor intensidad energética y requieren mayor energía para producir un kilogramo de maíz. Se caracterizan por tener mayores costos en la preparación del terreno, que conlleva que cada año incrementen los costos de chaporreo.

El tipo V está formado 26 productores. Estos productores se destacan por presentar los mayores costos de preparación del terreno, ronda y quema. También tienen altos costos totales de fertilización. Reflejan alta eficiencia energética ya que destinan pequeñas superficies al cultivo, perciben bajos ingresos, tienen mínimos flujos financieros asociados al elote, y presentan altos costos de quema y están además

asociados al riego. Finalmente, tienen costos bajos por compra de semilla y acarreo de grano.



**Figura 3. Tipos de productores, agrupados en base a los componentes evaluados.** comp. I= costos e ingresos del elote, material verde y riego; comp. II= superficie cultivada de maíz e ingresos; comp. III= consumo y eficiencia energética; comp. IV= costos de preparación del terreno; comp. V= costos totales y de fertilización; comp. VI= costos de ronda y quema; comp. VII= eficiencia; comp. VIII= costos de semillas y acarreo de granos; comp. IX= costos de saneamiento y cosecha del grano; comp. X= superficie no agrícola; comp. XI= relación producción de rastrojo y costo cosecha del elote.

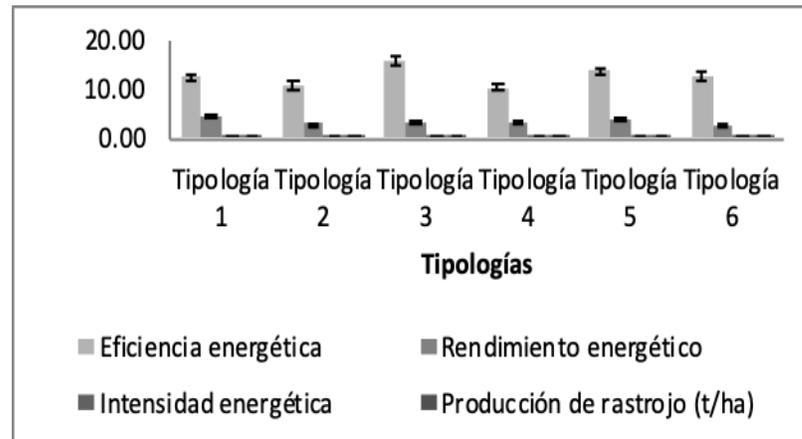
La tipología VI es la más pequeña de la muestra con 8 casos. Estos productores se distinguen por presentar altos flujos financieros asociados al elote, costos bajos de quema y riego y; costos mínimos de cosecha de grano. Presentan costos totales y de fertilización altos. Además, cuentan con una superficie cultivada, ingresos, consumo e intensidad energética cercana a la media del comportamiento potencial en el contexto de estudio, así como una eficiencia energética promedio de 10 Mcal producidas por unidad de energía consumida.

Estas tipologías evidencian una eficiencia energética buena (10 Mcal en el proceso productivo). No obstante, difieren en prácticas de producción, así como en los flujos financieros porque algunos productores venden en elote (mazorca tierna) y los demás lo hacen en grano. Además, los productores que presentan mejores flujos financieros

son aquellos que venden solo el elote comparado a los que comercializan únicamente el grano. Por ello, el estudio energético resulta muy importante, sobre todo cuando se requiere conocer detalladamente las entradas y salidas del agroecosistema (Funes *et al.*, 2011; Purroy *et al.* 2019) y estimar la eficiencia del mismo.

### Eficiencia energética

En cuanto a la eficiencia energética (Figura 4), los tipos III y V agrupan a los productores más eficientes. Mientras que los grupos IV y II muestran los valores más bajos. No obstante, en todos los casos los productores tienen una eficiencia energética por encima de 10 Mcal producidas por unidad de energía consumida. Estos resultados coinciden con Pimentel (1980), quien menciona que la eficiencia energética promedio de cultivo de maíz es de 10 Mcal producidas por cada Mcal invertida, por lo que se puede afirmar coincidentemente con Purroy *et al.* (2019) que aún bajo estas condiciones de la región, todos los productores tienen balances energéticos eficientes y que el agroecosistema presenta indicadores productivos y económicos viables.



**Figura 4. Indicadores de eficiencia energética de productores de maíz en la región Frailesca de Chiapas.**

El grupo de productores menos eficiente fue el II con  $2,8 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que el resto produjo entre  $3,8$  y  $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ . Sin embargo, estos rendimientos superan a lo reportado para Chiapas ( $1,9 \text{ t ha}^{-1}$ ) y de  $3,24 \text{ t ha}^{-1}$  para la región Frailesca (SIAP, 2017), donde además el 90% de los productores son de autoconsumo, y poseen una parcela menor de  $2,1 \text{ ha}$ , y un rendimiento promedio de  $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ , equivalente a  $5,25 \text{ t/parcela/año}$ , bajo condiciones de temporal (ASICH, 2007).



3. Otros productores que representan el 2,7% y que está asociado a la tipología VI practican una forma agroecológica, donde el 80% de los costos de producción se invierten en mano de obra para diversas actividades del cultivo, como la siembra, control de malezas, control de insectos, cosecha, la conservación del suelo; y el resto lo usan para la compra de semillas y fertilizante. Aún con el porcentaje destinado a los insumos, los cálculos de costo/beneficio (1,02) ubican al manejo agroecológico con el valor más bajo entre las tres formas de manejo.

En este sentido, en el corto y mediano plazos, las formas de manejo mixtas y agroecológicas son consideradas menos productivas; sin embargo, a largo plazo se hacen sostenibles con la implementación de prácticas agroecológicas (Espinosa *et al.*, 2011). En ese tenor, Aguilar *et al.* (2011) indican que el agroecosistema maíz practicado de manera agroecológica a largo plazo muestra una mayor sostenibilidad comparado con el sistema convencional.

### **Conclusiones**

Los productores de maíz de la región Frailesca, en Chiapas, México se caracterizan por una compleja serie de variables socioeconómicas, ambientales y productivas, que determinan la existencia de seis tipos de productores, las cuales conllevan a eficiencias productivas por encima de los datos oficiales reportados para la región. Los rendimientos de maíz se encuentran por encima de la media estatal. En ese sentido, todos los grupos de productores son energéticamente eficientes, característica asociada a la eficiencia productiva y económica del agroecosistema.

Además, en la región existen tres formas de manejo: convencional, agroecológica y mixta. Por ello, los tipos de productores y el manejo facilitan el análisis el contexto actual del agroecosistema y permiten definir posibles estrategias de atención a los productores, en función de su práctica cotidiana. Estos resultados conllevan a estudios más profundos sobre la eficiencia energética y sustentabilidad del agroecosistema maíz y sus formas de manejo en la región.

### **Literatura citada**

- Aguilar-Jiménez, C.E., Tolón, B. A. y Lastra, B. X. 2011. Evaluación integrada de la sostenibilidad ambiental, económica y social del cultivo de maíz en Chiapas, México. Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias UNCUIYO. Tomo 43, Año 1. Buenos Aires, Argentina. Pp. 155-174.
- Aguilar, J. C.E. 2010. Informe final del estudio técnico: Validación de semilla y del proceso de mantenimiento de agroecosistema en los ejidos de California, Nueva Esperanza y Flores Magón localizados en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera la Sepultura, municipio de Villaflores, Chiapas. 73 p.

- ASICH. 2007. Producción de maíz en Chiapas. Agencia de servicios Informativos de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 5 p.
- Chambers, R. (1993): Challenging the professions. *Frontiers for rural development*. IT Publications, London. Pp. 35-70.
- Comisión Nacional de Buenas Prácticas Agrícolas (CNBPA). 2008. Especificaciones técnicas de buenas prácticas agrícolas. Cultivo de maíz. Gobierno de Chile. Ministerio de Agricultura. 56 p.
- Delgado-Ruiz, F., Guevara-Hernández F., Acosta-Roca R. 2018. Criterios campesinos para la selección de maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores y Villa Corzo, Chiapas, México. *Ciencia UAT*. 13(1):123-134. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i1.985>
- Escobar, G. y Berdegué, J. A. 1990. Conceptos y metodología para la tipificación de sistemas de finca. In: Escobar, G. and Berdegué, J.A. (Eds.). *Tipificación de Sistemas de Producción Agrícola*. RIMISP, Santiago. Pp. 11-63.
- Ferraro, O. D. 2008. Evaluación energética de la producción de etanol en base a grano de maíz: un estudio de caso de la región Pampeana (Argentina). *Ecología Austral* 18:323-336.
- Funes, M. F, Suarez, J., Blanco, D., Reyes, F., Cepero, L., Rivero, J. L., Rodríguez, E., Savran, V., del Valle, Y., Cala, M., Vigil, M., Sotolongo, J.A., Boillat, S. y Sánchez, J.E. 2011. Evaluación inicial de sistemas integrados para la producción de alimentos y energía en Cuba. *Pastos y Forrajes*. 34(4):445-462.
- Funes, M. F. 2009. *Agricultura con futuro, la alternativa agroecológica para cuba*. Estación Experimental Indio Hatuey, Universidad de Matanzas. 176 p.
- Funes, M. F. 2001. *Sistema para el análisis de la eficiencia energética de fincas integrales*. IIPF; Instituto de Investigación de Pastos y Forrajes; Cuba.
- Guevara-Hernández, F. (2007): “¿Y después qué?: Action-research and ethnography on governance, actors and development in Southern Mexico”. *Technology and Agrarian Development Group*. Department of Social Sciences. Wageningen University and Research Centre. Wageningen, The Netherlands. 223 p.
- Guevara, H. F., Delgado, R. F., Arias, L. M., Rodríguez, L. L., Ortiz, P. R., Delgado, R. J. A., Venegas, V. J. A. y Pinto, R. R. 2018. Comparative energy-economic analysis of the maize agroecosystem under conventional and conservation practices in the Frailesca región, Chiapas. Mexico. *Revista Facultad Agronómica (LUZ)*. 35 (3):343-364. Caracas, Venezuela.
- Hagmann, J. y F. Guevara H. (2004): *Aprendiendo juntos para el cambio: la facilitación de innovaciones para el manejo sustentable de recursos naturales y el desarrollo rural a través de procesos participativos*. Serie Estudios de Caso. Red de Estudios para el Desarrollo Rural A.C. y Fundación Rockefeller. Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. 153 p.

- Hellin, J., Erenstein, O., Beuchelt, T., Camacho, C., Flores, D. 2013. Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop–livestock systems in Mexico. *Field Crops Res.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2013.05.014>.
- Hernández, X. E. 1985. Exploración etnobotánica y su metodología. En: *Xolocotzia. Geografía Agrícola. Tomo I: 163-188.*
- Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, ahorro y eficiencia energética con agricultura de conservación (IDAE). 2009. Ahorro y eficiencia energética en la agricultura. No. 12. Gobierno de España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. 56 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2012. Dirección General de Estadísticas Económicas. Estados Unidos Mexicanos. VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Panorama agropecuario en Chiapas Censo Agropecuario 2007-2012.
- Masera, O, Astier, M. 1995. Energía y sistema alimentario en México: Aportaciones de la agricultura alternativa, en *Agroecología y Desarrollo Agrícola en México*, Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, México D. F.
- Mandal, K. G., Saha, K. P., Ghost, K. M., Hati, K. M. y Bandyopadhyay, K. K. 2002. Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Energy* 23:337-345.
- Espinosa, A. J.A., Alberto, R. L. y Zapata, T. M. A. 2011. Los diseños agroecológicos: una herramienta para la planeación agrícola sostenible. Colombia. 71p.
- Perales, H.R., Benz, B. F., Brush, S. B. 2005. Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 102, 949–954.
- Pimentel, D. 1980. *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*. CRC Press, Boca Ratón, FL. Pp. 51-90.
- Purroy-Vázquez, R.; Ortega-Vargas, E.; Hernández-Santiago, Q.; Del Ángel-Piña, O.; Meza-Hernández, J.; Reyes-Santiago, B.; Nicolás-Vicente, F. 2019. Maize small-scale agroecosystems in the high Huasteca region of Veracruz: Economic-energetic efficiency and poverty. *Rev. Agric. Soc. Desarro.* 16 (1). Pp.105–121.
- SIAP. 2017. Chiapas. Infografía agroalimentaria. Servicio de Información agroalimentaria y pesquera. Benjamín Franklin 146. Colonia Escandón Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11800, CDMX.
- SIAP. 2016. Chiapas. Infografía agroalimentaria. Servicio de Información agroalimentaria y pesquera. Benjamín Franklin 146. Colonia Escandón Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11800, CDMX.
- StatSoft, Inc. 2007. STATISTICA (Data analysis software system), version 8.0. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).

## 4.2 Tipificación socio-agronómica y energética de productores de maíz en la región Frailesca, Chiapas, México

Franklin B. Martínez-Aguilar<sup>1</sup>, Francisco Guevara-Hernández<sup>2\*</sup>, Manuel A. La O-Arias<sup>2</sup>, Carlos E. Aguilar-Jiménez<sup>2</sup>, Luis A. Rodríguez-Larramendi<sup>3</sup>, René Pinto-Ruiz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad. (FBMA) ORCID: 0000-0003-2666-5863. Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Carretera Ocozocoautla-Villaflores Km. 84.5 C.P. 30470. Villaflores, Chiapas.

<sup>2</sup>Profesor de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Facultad de Ciencias Agronómicas. (FGH) ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1444-6324> (CEAJ) ORCID:0000-0002-6332-1771. (MALO) ORCID <http://orcid.org/0000-0002-6491-2063> (RPR) ORCID <http://orcid.org/0000-0003-1962-6874> Carretera Ocozocoautla-Villaflores Km. 84.5 C.P. 30470 Apdo. Postal 78, Villaflores, Chiapas.

<sup>3</sup>Profesor de la Facultad de Ingeniería, Sede Villa Corzo. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). ORCID:0000-0001-8805-7180 Carretera Villa Corzo-Monterrey Km 3, Villa Corzo CP 30520, Villa Corzo, Chiapas, México.

\*Autor de correspondencia: francisco.guevara@unach.mx

**Este artículo fue aceptado para su publicación en la Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia. Volumen 38, número 1, año 2021.**

El artículo científico sobre tipificación socio-agronómica y energética de productores de maíz de la región Frailesca, Chiapas aborda al primer objetivo específico, pregunta de investigación e hipótesis planteada. En la zona se identificaron cinco tipos de productores de maíces que se diferencian sobre la base de seis componentes que explicaron el 83% de la varianza total, entre las que se destacan: el rendimiento y eficiencia; el perfil maíz en el sistema productivo en general y el consumo energético. Todos los grupos identificados se caracterizan por tener superficies pequeñas para la siembra maíz, pero se consideran con una eficiencia energética aceptable y rendimientos superiores a la media para el estado de Chiapas.

**Tipificación socio-agronómica y energética de productores de maíz en la región  
Frailesca, Chiapas, México**

**Socio-agronomic and energy typification of maize-farmers in the Frailesca  
region of Chiapas, Mexico**

**Tipificação socioeconômica e energética de produtores de milho na região de  
Frailesca, Chiapas, México**

Franklin B. Martínez-Aguilar<sup>1</sup>, Francisco Guevara-Hernández<sup>2\*</sup>, Manuel A. La O-Arias<sup>2</sup>,  
Carlos E. Aguilar-Jiménez<sup>2</sup>, Luis A. Rodríguez-Larramendi<sup>3</sup>, René Pinto-Ruiz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad. (FBMA) ORCID: 0000-0003-2666-5863. Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Carretera Ocozocoautla-Villaflores Km. 84.5 C.P. 30470. Villaflores, Chiapas.

<sup>2</sup>Profesor de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Facultad de Ciencias Agronómicas. (FGH) ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1444-6324> (CEAJ) ORCID:0000-0002-6332-1771. (MALO) ORCID <http://orcid.org/0000-0002-6491-2063> (RPR) ORCID <http://orcid.org/0000-0003-1962-6874> Carretera Ocozocoautla-Villaflores Km. 84.5 C.P. 30470 Apdo. Postal 78, Villaflores, Chiapas.

<sup>3</sup> Profesor de la Facultad de Ingeniería, Sede Villa Corzo. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). ORCID:0000-0001-8805-7180 Carretera Villa Corzo-Monterrey Km 3, Villa Corzo CP 30520, Villa Corzo, Chiapas, México.

\*Autor de correspondencia: [francisco.guevara@unach.mx](mailto:francisco.guevara@unach.mx)

**Resumen**

La identificación y caracterización de tipos de productores del agroecosistema maíz es imprescindible para el desarrollo de estrategias socio-productivas efectivas y sustentables. En cuatro municipios de la región Frailesca del estado de Chiapas, México; se tipificó a los productores de maíz y se caracterizó su agroecosistema desde el punto de vista de criterios socioeconómicos, productivos y energéticos. Además, se determinó su relación con las formas de manejo del agroecosistema convencional, agroecológica y mixta. Fue una investigación socio-agronómica del tipo descriptiva y con un enfoque de sistemas y flujos energéticos. La muestra empleada fue de 300 productores de maíz. Para el manejo de los datos, se empleó la estadística descriptiva y análisis multivariado exploratorio de componentes principales y conglomerados para construir tipologías. Se identificaron cinco tipos de productores de maíz sobre la base de seis componentes que explicaron 83% de la varianza total. Dentro de estas componentes se destacaron: “Rendimiento y Eficiencia”, “Perfil Maíz” (se refiere al peso del componente maíz dentro del sistema productivo) y “Consumo Energético”. Los grupos de productores identificados se etiquetaron como: “Productores pequeños”, “Productores mayores”, “Productores mixtos ganadería-maíz”, “Productores de subsistencia” y “Productores maíz-rastrojo”. Todos los grupos

identificados se caracterizan por tener superficies pequeñas para la siembra maíz, pero se consideran con una eficiencia energética aceptable, superior a 10 MJ y rendimientos entre 2,8 y 4,0 t ha<sup>-1</sup>, superiores la media para el estado de Chiapas.

**Palabras clave:** Caracterización, *Zea mays* L., Tipos de productores

### **Abstract**

The identification and characterization of farmers types in the maize agroecosystem is an essential element for the development of effective and sustainable socio-productive strategies. In four municipalities of the Frailesca region in Chiapas, Mexico; maize farmers were typified and their agroecosystem was characterized regarding the criteria: socioeconomic, productive and energy efficiency. Besides, farmers relation to conventional, agro-ecological and mixed production strategies was determined. It was an exploratory socio-agronomic and descriptive research focused on a system approach and energy flows. The sample used was 300 farmers. For data management, descriptive statistics and exploratory multivariate analysis of principal components and clusters were used to construct the typologies. Five types of farmers-groups were identified based on six components that explained 83% of the total variance. Among these components, the following stood out: "Yield and Efficiency", "Maize profile" (refers to the type of maize and its importance within the system) and "Energy Consumption". The typified groups of farmers were labeled as: "Small farmers", "Major farmers", "Mixed livestock-maize farmers", "Subsistence farmers" and "Maize-stubble producers". All groups are characterized by having small maize areas, but they are considered to have an acceptable energy efficiency, greater than 10 MJ and yields between 2.8 and 4.0 t ha<sup>-1</sup>, higher than the average for the state of Chiapas. All groups were efficient in the use of energy, as result of the high productive and economic capacity of the agroecosystem. The maize yield is between 2,8 and 4,0 t ha<sup>-1</sup> and the energy efficiency is higher than 10 MJ.

**Key words:** Characterization, *Zea mays* L., Type of farmers

### **Introducción**

En México, el cultivo de maíz es una de las actividades agrícolas más importantes. La superficie cultivada es de 3.8 millones de hectáreas y la producción promedio anual de 24.3 millones de toneladas (SIAP, 2018). En el estado de Chiapas, el 70% de la producción de maíz se envía a otros estados del país que no son autosuficientes (SAGARPA, 2017). Entre los municipios más productivos en el estado se encuentran Villaflores, Villa Corzo, El Parral y La Concordia, donde el cultivo ocupa alrededor del 17% de la superficie agrícola y aporta el 22% de la producción estatal (INEGI, 2018). El desarrollo productivo en estos municipios se sustenta en el empleo de variedades

mejoradas y tecnologías convencionales. En este sentido, el 88% de los productores utilizan fertilizantes, 76% usa insecticidas y 65% herbicidas (Guevara *et al.*, 2018). Además, el 32% de los productores usa semillas mejoradas, mientras que el 68% emplea semillas de origen local, conocidas como criollas (Delgado-Ruiz *et al.*, 2018). Esto hace evidente una matriz de consumo energético básicamente industrial que conduce a emisiones de gases de efecto invernadero (IDAE, 2009; Ocaña, 2015).

En estos cuatro municipios, el rendimiento promedio de maíz, bajo temporal (lluvia estacional), es de 3,24 t ha<sup>-1</sup>, superior a la media estatal de 1,9 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2018). Estos resultados productivos se obtienen en una alta diversidad de combinaciones tecnológicas. La lógica productivista apoya la idea de que el empleo de insumos industriales incrementa la matriz de consumo energético, pero se compensa con la respuesta productiva. Sin embargo, otros puntos de vista asumen la idea de sustituir insumos industriales para reducir el consumo energético y obtener resultados productivos similares de una manera sustentable en el tiempo.

Ante esto, la sustentabilidad se concibe como la acción del hombre en relación a su ambiente y busca un equilibrio entre lo ecológico, lo económico y lo social para lograr mantener la producción de un sistema de manera constante en el tiempo y disminuye el impacto negativo sobre los recursos de la zona (Toledo, 2015). En ese sentido, el agroecosistema maíz para la zona de estudio representa la mayor actividad económica y se desarrolla con una alta diversidad de racionalidades tecnológicas y socioeconómicas.

En esencia esta diversidad se distribuye de forma gradual, desde una racionalidad que promueve los ciclos agroecológicos de regeneración-regulación (Altieri, 2002) hasta una racionalidad centrada en el productivismo que fomenta un proceso lineal y extractivo. En este espectro no solo se enmarcan las tecnologías productivas, sino también las estrategias de relación con el agroecosistema, la familia y el entorno socioeconómico. Un enfoque sistémico y el análisis energético, metodológicamente contribuyen a operacionalizar las variables implicadas y muchos de sus indicadores se proyectan como indicadores de sustentabilidad. Por ejemplo, los procesos de reciclaje de nutrientes se reflejan en el balance de insumos industriales requeridos y los procesos lineales en la relación entre energía consumida *versus* energía producida.

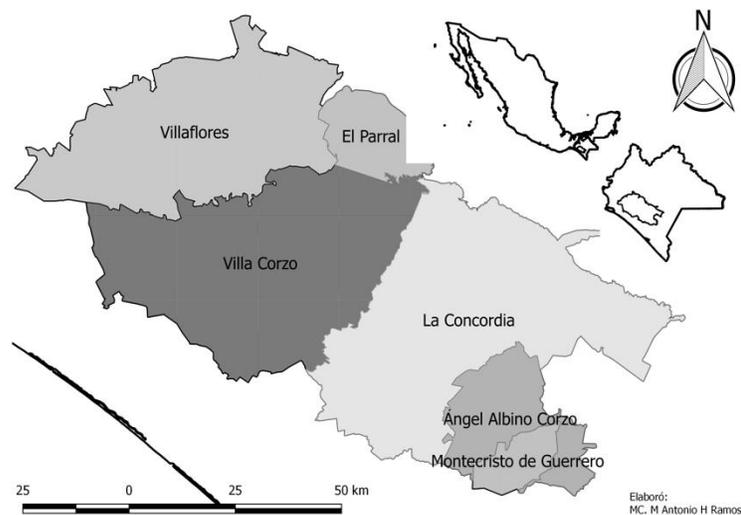
Por ello, la tipificación socio-productiva de los agricultores y la caracterización de su agroecosistema, bajo un enfoque sistémico y de eficiencia energética es muy importante en los análisis de sustentabilidad (Hellin *et al.*, 2013; Purroy *et al.*, 2016). En ese tenor, la identificación y caracterización de tipos de productores del agroecosistema maíz es imprescindible para el desarrollo de estrategias socio-

productivas efectivas y sustentables. Esta segmentación permite a los actores del desarrollo trabajar con dominios de recomendación y análisis, que se ajusten, a las particularidades de cada agroecosistema y sus formas de manejo (Méndez-Cortés *et al.*, 2019). Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo tipificar a los productores de maíz y caracterizar su agroecosistema desde el punto de vista de la sustentabilidad con criterios socioeconómicos, productivos y energéticos, en cuatro municipios de la región Frailesca, de Chiapas.

## Materiales y Métodos

### Localización y características del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en cuatro municipios (Villaflores, Villa Corzo, El Parral y La Concordia) de la región Frailesca en el estado de Chiapas, México, ubicados entre las coordenadas  $16^{\circ}14'00''\text{N}$   $93^{\circ}16'09''\text{O}$ , y  $16^{\circ}14'00''\text{N}$   $93^{\circ}16'09''\text{O}$  (Figura 1). Esta área geográfica, es la de mayor producción de maíz en el estado, con un rendimiento promedio de  $3,24 \text{ t ha}^{-1}$  (INEGI, 2018), presenta una temperatura promedio  $24,5^{\circ}\text{C}$ , con 1200 mm de lluvia en el verano. Como contraparte, en la Frailesca predomina la agricultura de pequeña escala, donde los productores practican formas diferentes de manejo (convencional, agroecológica y mixta) del agroecosistema maíz, de acuerdo con las condiciones edafoclimáticas, los costos de producción, el destino del producto y los cambios en los patrones de cultivo en la región (Ocaña, 2015; Guevara *et al.*, 2018).



**Figura 1. Localización de los municipios productores de maíz en la Frailesca, Chiapas (México).**

## Metodología

Para la tipificación de productores se utilizó una metodología interdisciplinaria con un enfoque sistémico para el desarrollo (Chambers, 1993; Hagmann, 1999). Se utilizaron criterios socioeconómicos, productivos y ambientales de acuerdo a lo sugerido por Guevara-Hernández (2007) y Rodríguez y Guevara (2009). Para ello, se tomó como base la población reportada por SAGARPA de 7,888 productores de maíz, con 54,873 hectáreas cultivadas bajo siembra de temporal (SIAP, 2018). El tipo de muestreo utilizado fue aleatorio simple y para definir el tamaño de muestra se empleó la fórmula de Scheaffer *et al.* (2004). Se estudiaron un total de 300 productores de 75 comunidades. Se aplicaron entrevistas y encuestas a los productores para analizar 17 variables agrupadas en criterios socioeconómicos, productivos y energéticos del agroecosistema maíz (Cuadro 1). Para la estimación de los indicadores energéticos se calculó el total de entradas y salidas energéticas en el proceso productivo, a partir del producto el volumen total de cada elemento por su equivalencia energética representada en el Cuadro 2, de acuerdo con Funes (2009). La eficiencia energética es la razón: producción de energía/consumo, mientras que la intensidad energética es la razón volumen de producción /consumo energético. En este sentido se consideró la energía directa para el cálculo de las entradas y salidas del sistema (Pimentel, 1980).

**Cuadro 1. Criterios y las variables estudiadas para tipificar productores y caracterizar el agroecosistema maíz en la región Frailesca de Chiapas.**

Criterios	Variables
Socioeconómicos	Ingresos totales (pesos mexicanos)
	Comercialización maíz elote
	Comercialización maíz rastrojo
	Ingresos por la venta (maíz) (pesos mexicanos)
	Ingresos por la venta (rastrojo) (pesos mexicanos)
	Costos de producción (pesos mexicanos) 25: 1 USD
Productivos	Superficie agrícola (ha)
	Superficie forestal (ha)
	Superficie maíz (ha)
	Superficie ganadera (ha)
	Producción de rastrojo (Toneladas por hectárea)
	Rendimiento de maíz (Toneladas por hectárea)
Energéticos	Intensidad energética (kg/MJ)
	Energía producida (MJ/ha <sup>-1</sup> )
	Rendimiento energético (kg/MJ <sup>-1</sup> )
	Eficiencia energética (Energía producida/Energía consumida)
	Personas alimentadas con energía

**Cuadro 2. Equivalencia energética de los insumos directos empleados y productos utilizados en el análisis.**

Insumo	Unidad	Kcal/unidad	Fuente
Trabajo humano	Horas	250	(Funes, 2001)
Trabajo animal	Horas	1800	(Funes, 2001)
Semilla (en general)	kg	25714,3	(Perales <i>et al.</i> , 2005)
Diésel	L	9243	(Maserá y Astier, 1995)
Gasolina	L	8150	(Maserá y Astier, 1995)
Sulfato de amonio (21%)	kg	10755	(IDAE, 2009)
Herbicida	L	57000	(Funes, 2001)
Insecticida	L	44000	(Funes, 2001)
Maquinaria		21000	(Maserá y Astier, 1995)
Tractor agrícola	Horas	1015,4	(Funes <i>et al.</i> , 2011)
Producto (Maíz, grano seco)	kg	3656,7	(Funes, 2009)
Frijol	kg	3322,1	(Funes, 2009)

### **Análisis de información**

Para reducir la dimensionalidad de las variables de estudio, se aplicó un análisis de componentes principales (Escobar y Berdegué, 1990) en el que se extrajeron los componentes con autovalores superiores a uno. Los componentes extraídos se consideraron como nuevas variables y se emplearon en el análisis de conglomerados para establecer grupos de productores, a partir de las formas de manejo del agroecosistema con características similares. Para establecer asociaciones entre los tipos definidos de productores y las formas de manejo de agroecosistema se realizaron análisis factoriales de correspondencias múltiples. Finalmente, se aplicaron análisis de varianza simples y la prueba de Duncan para identificar las variables originales que aportaron significativamente a la diferenciación de los tipos de productores. Se utilizó el software Statistica (StatSoft, 2007).

### **Resultados y discusión**

El análisis de componentes principales (AFCP) permitió identificar seis componentes o factores que explicaron el 83% de la varianza total. De las 17 variables incluidas, destacaron en la conformación de las componentes y el establecimiento de tipologías, el rendimiento y eficiencia, consumo energético, perfil maíz, comercialización de elote y rastrojo, comercio de elote y superficie no agrícola (Cuadro 3).

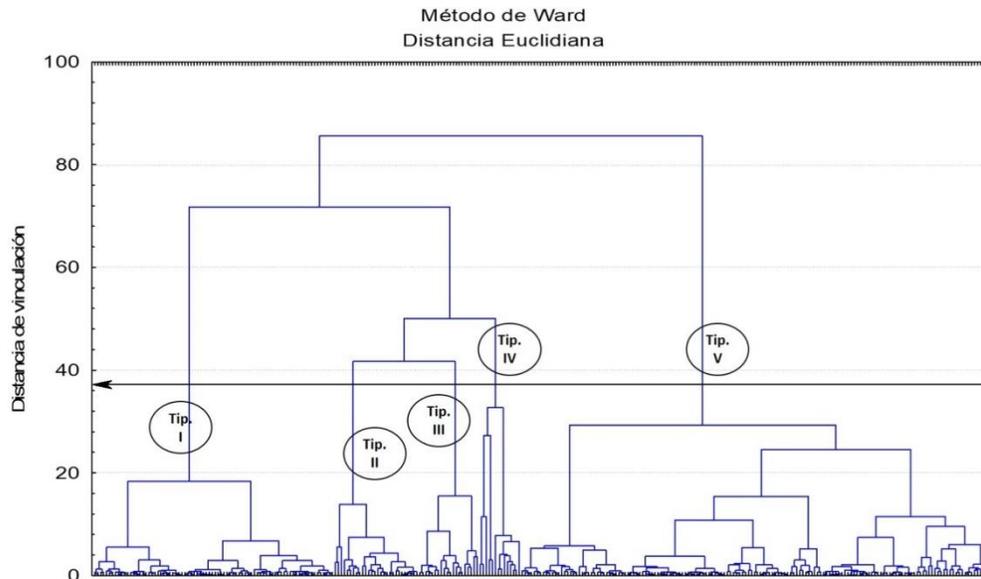
**Cuadro 3. Componentes principales y porcentaje de la varianza extraída y la acumulada.**

<b>Componente</b>	<b>Variable original</b>	<b>Correlación</b>	<b>Varianza explicada acumulada</b>
Rendimiento y eficiencia	Rendimiento (Kg/ha)	0,96	26%
	Energía producida (Mcal)	0,96	
	Rendimiento energético	0,88	
	Eficiencia energética	0,88	
	Personas alimentadas energía	0,96	
Perfil Maíz	Superficie agrícola	0,88	46%
	Superficie maíz	0,92	
	Ingresos Maíz grano	0,91	
Consumo energético	Ingresos totales	0,91	57%
	Energía directa	0,98	
	Intensidad energética	0,90	
Comercialización de elote y rastrojo	Comercialización (Maíz en elote)	-0,82	65%
	Comercialización (Maíz Rastrojo)	-0,83	
Comercio de elote	Ingresos Elote	0,87	74%
	Costo total producción de maíz	0,85	
Superficie agrícola	Superficie ganadera (ha)	-0,84	83%
	Superficie forestal (ha)	-0,77	

Las diferencias más importantes entre las formas de manejo del agroecosistema estudiadas se reflejan en cuanto a su eficiencia y su perfil para el cultivo. Estos dos componentes explican prácticamente la mitad de la variabilidad entre formas de manejo y combinan un total de nueve variables originales. Es relevante mencionar que la eficiencia energética está asociada a los rendimientos productivos, dentro de la Componente I: "Rendimiento y Eficiencia", pero no correlacionada con la Componente III: "Consumo energético". Esto significa que el empleo de insumos industriales no siempre tiene un efecto productivo suficiente y que bajo formas de manejo del agroecosistema de menor consumo de estos, también se logran obtener rendimientos competitivos.

## Tipificación de productores

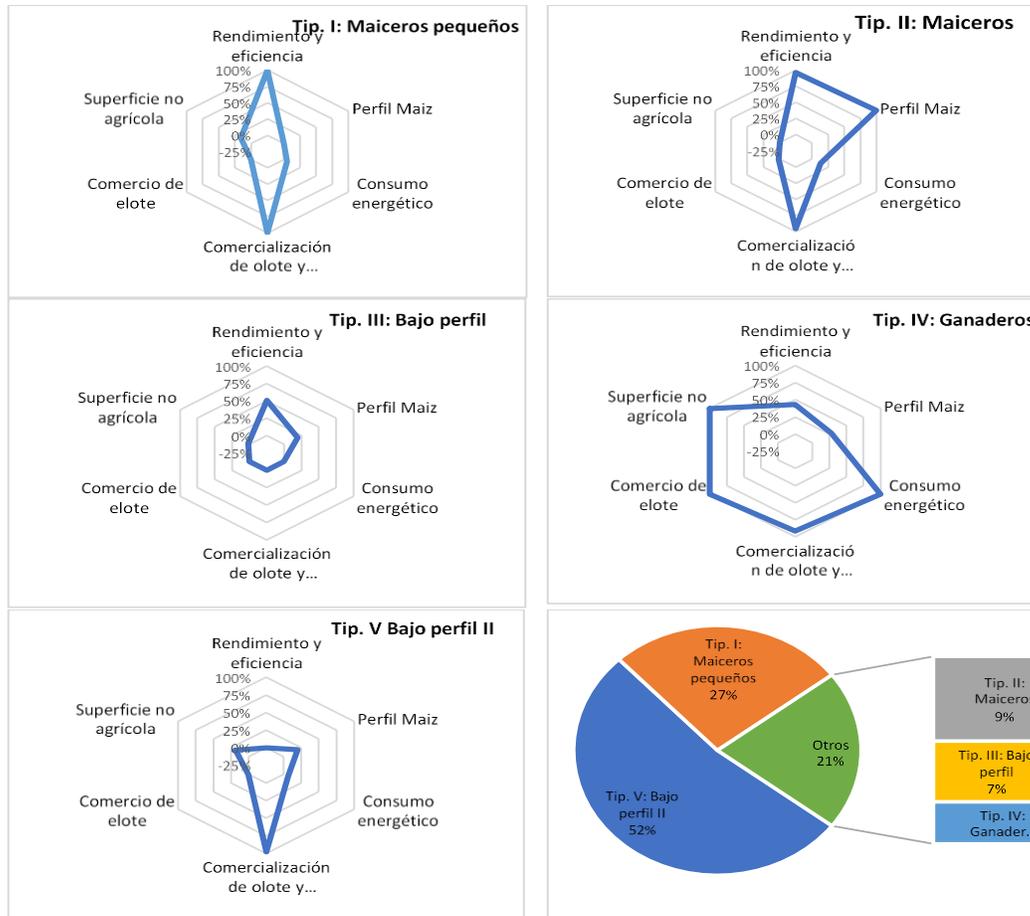
Se conformaron cinco grupos o tipos de productores a partir de las puntuaciones resultantes del análisis factorial de componentes principales, usando el método de la distancia euclidiana (Figura 2).



**Figura 2. Tipología de productores de maíz en cuatro municipios de la Frailesca, Chiapas; formados a partir de los clústeres del análisis de conglomerados jerárquicos.**

El tipo I (“Productores pequeños”) incluye el 27% de productores. Se caracterizan por obtener los más altos rendimientos y eficiencia energética-productiva; además, presenta un perfil alto de comercialización de sus productos. Sin embargo, cultivan en superficies pequeñas (1,25 ha promedio) con bajo consumo de energía. Estos productores son capaces de producir más energía en forma de productos agropecuarios que la que consumen en actividades culturales dentro del agroecosistema (Delgado, 2017). Desde el punto de vista económico, el perfil alto de comercialización se relacionó con la cercanía del área de producción con los espacios de acopio de los productos agrícolas (Delgado-Ruiz *et al.* 2018).

El tipo II (“Productores mayores”) representa al 9% de los productores. Son netamente productores de maíz y, en general, similares al tipo I, en cuanto a la eficiencia energética alta y su proyección hacia la comercialización (Figura 3). Pero se diferencian por tener superficies de cultivo mucho mayores (7,38 ha promedio).



**Figura 3. Caracterización de los tipos de productores definidos con base en las puntuaciones factoriales de las componentes.**

El tipo III (“Productores de subsistencia”) está conformado por el 7% de los casos, y se caracteriza por practicar una agricultura de subsistencia y autoconsumo, se encuentran en las zonas marginales y con potencial productivo bajo. Esto se refleja en la eficiencia energética baja y la superficie pequeña de maíz cultivado. Al respecto, Sánchez *et al.* (2014) indican que los productores que practican una agricultura tradicional se encuentran en una posición geográfica marginada y más lejana a los puntos de venta del grano, donde el intermediarismo es utilizado como mecanismo de venta de la producción que requiere ser vendida. Esto se debe a que las áreas de cultivo se encuentran principalmente en zonas aledañas o de amortiguamiento de reservas naturales protegidas y la orografía que se presenta es del tipo relieve montañoso.

El tipo IV (“Productores mixtos ganadería-maíz”) representa el 5% de los productores, su perfil es no-agrícola por su actividad ganadera y en algunos casos forestal. Presenta

además una proyección alta en las componentes económicas. Sus formas de producción de maíz son más dinámicas y tienen dos o más cosechas en el año, ya que cuentan con riego.

El tipo V (“Productores maíz-rastrojo”), es mayoritario, constituido por el 52% de los productores. Este grupo está limitado en la componente “Perfil maíz” y complementan su estrategia de ingresos con la comercialización del rastrojo. Muestran niveles de eficiencia inferior al resto de los grupos debido que la exportación de rastrojo del agroecosistema y reduce los procesos de reciclaje de nutrientes asociados a la agricultura de conservación. Esto es consistente con sus suelos poco productivos y sometidos a procesos de degradación descritos por López *et al.* (2018) y López *et al.* (2019).

Los cinco tipos de productores evidencian una eficiencia energética superior a 10 MJ (energía producida/energía consumida), lo que coincide con Pimentel (1980) quien encontró que la eficiencia energética promedio del cultivo de maíz es de 11,84 MJ producidos por cada MJ invertido. Es decir, en el área ocupada por estos municipios existen condiciones propicias para el cultivo del maíz sobre la base de insumos industriales, pero la integración de prácticas agroecológicas, también ha demostrado efectividad (López *et al.*, 2019).

No obstante, entre los grupos de productores existen ciertas prácticas de producción, así como flujos financieros que los diferencian (Cuadro 4). Algunos de ellos, venden la producción en elote (mazorca tierna) con mejor precio de venta, a diferencia de quienes lo comercializan como grano. Por ello, el estudio energético y su flujo, resulta muy importante, sobre todo cuando se requiere conocer la eficiencia del agroecosistema (Mandal *et al.*, 2002; Funes *et al.*, 2011; Purroy *et al.*, 2019).

**Cuadro 4. Caracterización de las tipologías a partir de las variables originales\*, asociadas a componentes**

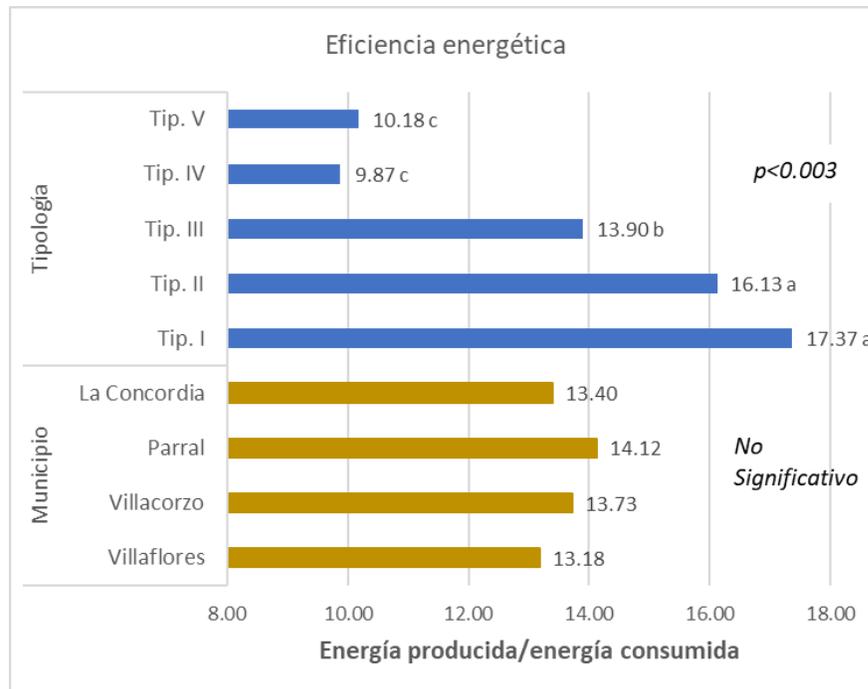
Comp.	Tipología		Tip. I	Tip. II	Tip. III	Tip. IV	Tip. V	Sig
	<b>Variables</b>	N	80	28	20	14	158	
y	Eficiencia energética	X	17,29 <sup>a</sup>	1610 <sup>a</sup>	13,72 <sup>b</sup>	9,73 <sup>c</sup>	10,14 <sup>c</sup>	***
		DE	3,56	4,80	4,63	5,72	2,89	
Rendimiento	Rend. (Kg/ha)	X	4368,75 <sup>a</sup>	4928,57 <sup>a</sup>	3700,00 <sup>b</sup>	3678,57 <sup>b</sup>	276582 <sup>c</sup>	***
		DE	577,77	716,40	864,51	774,77	762,73	
eficiencia	Energía producida (Mcal)	X	15975 <sup>b</sup>	18022 <sup>a</sup>	13529 <sup>c</sup>	13451 <sup>c</sup>	10113 <sup>d</sup>	***
		DE	2112	2619	3161	2833	2789	
Perfil Maíz	Superficie agrícola	X	2,58 <sup>c</sup>	8,37 <sup>a</sup>	3,21 <sup>c</sup>	6,64 <sup>b</sup>	4,19 <sup>bc</sup>	***
		DE	1,03	3,78	1,38	5,58	2,62	
	Superficie maíz	X	1,94 <sup>d</sup>	7,38 <sup>a</sup>	2,88 <sup>c</sup>	5,57 <sup>b</sup>	3,18 <sup>c</sup>	***

		DE	0,81	3,37	1,17	5,26	1,96	
	Ingresos totales	X	27993 <sup>d</sup>	130237 <sup>a</sup>	38712 <sup>d</sup>	53689 <sup>b</sup>	30339 <sup>cd</sup>	***
		DE	16148	51771	22616	39418	25438	
Comercialización de elote y rastrojo	energía directa	X	947,95 <sup>c</sup>	1303,45 <sup>b</sup>	1036,91 <sup>bc</sup>	3156,89 <sup>a</sup>	1027,70 <sup>bc</sup>	***
		DE	157,10	868,76	238,18	4313,31	261,59	
	Intensidad energética	X	0,22 <sup>c</sup>	0,28 <sup>c</sup>	0,32 <sup>c</sup>	0,89 <sup>a</sup>	0,40 <sup>b</sup>	***
		DE	0,04	0,23	0,18	1,21	0,17	
	comercialización (Maíz en elote)	X	4,00 <sup>a</sup>	3,96 <sup>a</sup>	3,20 <sup>b</sup>	3,71 <sup>ab</sup>	4,00 <sup>a</sup>	***
		DE	0,00	0,19	1,06	0,61	0,00	
	comercialización (Maíz Rastrojo)	X	4,00 <sup>a</sup>	4,00 <sup>a</sup>	2,40 <sup>b</sup>	3,79 <sup>ab</sup>	3,94 <sup>a</sup>	***
		DE	0,00	0,00	1,10	0,58	0,23	
	Ingresos Elote	X	0,00	0,00	500,00 <sup>b</sup>	11803,57 <sup>a</sup>	0,00	***
		DE	0,00	0,00	2236,07	13871,26	0,00	
Superficie agrícola	Costo total producción de maíz	X	9430 <sup>b</sup>	10615 <sup>b</sup>	10099 <sup>b</sup>	18624 <sup>a</sup>	9624 <sup>b</sup>	***
		DE	1622	2276	2221	5567	2392	
	Superficie ganadera (ha)	X	0,93 <sup>c</sup>	2,11 <sup>b</sup>	0,00	25,50 <sup>a</sup>	3,45 <sup>b</sup>	***
		DE	3,06	6,53	0,00	47,75	9,38	
	Superficie forestal (ha)	X	1,03 <sup>c</sup>	2,79 <sup>b</sup>	0,86 <sup>c</sup>	15,57 <sup>a</sup>	2,69 <sup>b</sup>	***
		DE	1,87	3,76	1,49	54,83	6,74	

Letras diferentes por filas, indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) al aplicar la prueba de Duncan. X: Promedio DE: Desviación Estándar.

## Eficiencia energética

El análisis de varianza determinó que los grupos identificados son diferentes en cuanto a los flujos de energía (Figura 4). El grupo I presenta una eficiencia energética de 17,37 MJ, seguido del grupo II, con 16,13 MJ. Ambos grupos tienen a los productores energéticamente más eficientes, como resultado del aprovechamiento adecuado de los insumos por parte del maíz y del momento de su aplicación, lo que hace eficiente la transformación de la energía consumida *versus* la energía producida. Los valores más bajos de la eficiencia energética los encontramos en el grupo V con 10,18 MJ y el grupo IV con 9,87 MJ. Esto se debe al bajo uso de insumos industriales en el agroecosistema y por presentar suelos pocos productivos, es decir, ya sea degradados o en malas condiciones para la producción. En ese sentido, Purroy *et al.* (2016) indican que la eficiencia energética de los agroecosistemas resulta ser una herramienta metodológica para la caracterización de productores.



**Figura 4. Indicadores de eficiencia energética de productores de maíz en cuatro municipios de la Frailesca, Chiapas.**

En el análisis por municipio, no existió diferencia estadística significativa para la eficiencia energética del agroecosistema, ya que los valores fluctuaron entre 13,18 MJ y 14,17 MJ (Figura 4). Estos valores indican que el agroecosistema maíz, al nivel municipal, es eficiente en la transformación de la energía, por lo que se puede afirmar coincidentemente con Purroy *et al.* (2019) que el agroecosistema presenta indicadores productivos y económicos viables.

En ese sentido, respecto a la producción en grano, el grupo de productores menos eficiente fue el II con  $2,8 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que el resto produjo entre  $3,8$  y  $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ . Sin embargo, estos rendimientos superan a lo reportado para Chiapas ( $1,9 \text{ t ha}^{-1}$ ) y de  $3,24 \text{ t ha}^{-1}$  para la región Frailesca, a la que pertenecen los cuatro municipios estudiados (SIAP, 2018), donde además el 70% de los productores son clasificados como de subsistencia, y poseen una parcela menor de  $2,1 \text{ ha}$  (ASICH, 2007).

### Las formas de producción

La tipología de productores asociada a las formas de manejo del agroecosistema maíz por municipio, permitió visualizar la integración de la tecnología empleada en la producción con respecto a la zona geográfica (Figura 5). El análisis de correspondencia múltiple mostró asociaciones estadísticas significativas entre estas variables. Las formas de manejo se asocian de la siguiente manera: el sistema agroecológico con el grupo II, el sistema mixto al grupo IV y el sistema convencional a

los grupos I, III y V. Sin embargo, en el análisis municipal, se observa que Villaflores, Villa Corzo y El Parral se asocian al sistema de manejo convencional, La Concordia al sistema mixto y nuevamente Villaflores al sistema de manejo agroecológico.

El sistema de manejo convencional, se caracteriza por el uso elevado de agroquímicos para producir maíz, además cuenta con terrenos planos para la mecanización; por ello, a largo plazo presenta problemas de degradación del recurso suelo, lo que provoca pérdida en la capacidad productiva del agroecosistema. Según Gliessman *et al.* (2007) el modelo convencional de producción ha ocasionado problemas al suelo debido a la presión permanente, degradación constante y no utilización de prácticas para contrarrestar los efectos de largo plazo.

El sistema de manejo mixto presenta niveles altos de flujos económicos y consumo energético, porque la producción se vende en elote y no el grano como los otros grupos. Además de que realizan dos o más siembras de maíz durante el año, cuentan con riego y no dependen de las lluvias. En este sentido, Pimentel (2005) indica que el incremento o disminución de la producción de maíz se debe principalmente a los altos costos económicos de producción, la dependencia de recursos energéticos no renovables, la degradación de los recursos naturales del agroecosistema y la poca estabilidad del rendimiento de los cultivos.

El sistema de manejo agroecológico se asocia al municipio de Villaflores y se caracteriza por una buena eficiencia energética y proyección en la comercialización. Las áreas cultivadas son superiores a 4 ha por productor. Estas condiciones favorecen el desarrollo del cultivo de maíz e incrementan su rendimiento. En el corto y mediano plazo, las formas de manejo mixto y agroecológico son consideradas menos productivas; sin embargo, en el largo plazo, se hacen sustentables con la implementación de prácticas agroecológicas (Espinosa *et al.*, 2011). En ese tenor, Aguilar-Jiménez *et al.* (2011) indican que en el largo plazo, el agroecosistema maíz bajo un manejo agroecológico presenta mayor sustentabilidad respecto a las formas de manejo convencionales.



### **Agradecimientos:**

Este artículo forma parte del proyecto de tesis doctoral del primer autor y es titulada “La sustentabilidad del agroecosistema maíz (*Zea mays* L.) en la región Frailesca, Chiapas. México”. Se agradece a la Universidad Autónoma de Chiapas, por el apoyo y la oportunidad de realizar los estudios doctorales, al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por la beca otorgada y a todos los productores que proporcionaron información valiosa para el desarrollo de la presente investigación.

### **Literatura citada**

- Aguilar-Jiménez, C. E., Tolón, B. A. y Lastra, B. X. 2011. Evaluación integrada de la sostenibilidad ambiental, económica y social del cultivo de maíz en Chiapas, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias UNCUIYO*. Tomo 43, Año 1. pp. 155-174.
- Agencia de Servicios Informativos de Chiapas (ASICH). 2007. Producción de maíz en Chiapas. Agencia de servicios Informativos de Chiapas. (Consulta en línea: 20 de enero de 2019).
- Altieri, M. A. 2002. Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. En: SARANDON, SJ *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*. Buenos Aires–La Plata, Pp: 49-56
- Chambers, R. 1993. Challenging the professions. *Frontiers for rural development*. IT Publications, London. Pp. 35-70.
- Delgado-Ruiz, F., Guevara-Hernández F., Acosta-Roca R. 2018. Criterios campesinos para la selección de maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores y Villa Corzo, Chiapas, México. *Ciencia UAT*. 13(1):123-134. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i1.985>.
- Delgado, R. F. 2017. Evaluación energética y económica del sistema de producción de maíz (*Zea mays* L.) bajo prácticas convencionales y de conservación en la región Frailesca. Tesis de Maestría. Facultad Ciencias Agronómicas de la Universidad Autónoma de Chiapas. Villaflores, Chiapas. México. 83 p.
- Escobar, G. y Berdegué, J.A. 1990. Conceptos y metodología para la tipificación de sistemas de finca. *In: Escobar, G. and Berdegué, J.A. (Eds.). Tipificación de Sistemas de Producción Agrícola*. RIMISP, Santiago. Pp. 11-63.
- Espinosa. J.A. Ríos. L.A. Zapata. M. 2011. Los diseños agroecológicos: una herramienta para la planeación agrícola sostenible. Medellín: Universidad de Antioquia. Medellín. 71 p.
- Funes, M. F, Suarez, J., Blanco, D., Reyes, F., Cepero, L., Rivero, J.L., Rodríguez, E., Savran, V., del Valle, Y., Cala, M., Vigil, M., Sotolongo, J.A., Boillat, S., Sánchez, J.E. 2011. Evaluación inicial de sistemas integrados para la producción de alimentos y energía en Cuba. *Pastos y Forrajes*. 34(4):445-462.

- Funes, M. F. 2009. Agricultura con futuro, la alternativa agroecológica para Cuba. Estación Experimental Indio Hatuey, Universidad de Matanzas. 176 p.
- Gliessman, S.R., Rosado, M.F.J., Guadarrama, Z.C., Jedlicka, J., Cohn, A., Mendez, V.E., Cohen, R., Trujillo, L., Bacon, C. y Jaffe, R. 2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Revista ecosistemas*. 16 (1). Pp. 13-23.
- Guevara, H. F., Delgado, R. F., Arias, L. M., Rodríguez, L. L., Ortiz, P. R., Delgado, R. J. A., Venegas, V. J. A. y Pinto, R. R. 2018. Comparative energy-economic analysis of the maize agroecosystem under conventional and conservation practices in the Frailesca region, Chiapas. Mexico. *Revista Facultad Agronómica (LUZ)*. 35:343-364. Caracas, Venezuela.
- Guevara-Hernández, F. 2007. “¿Y después qué?: Action-research and ethnography on governance, actors and development in Southern Mexico”. Technology and Agrarian Development Group. Department of Social Sciences. Wageningen University and Research Centre. Wageningen, The Netherlands. 223 p.
- Hagmann, J. 1999. Learning together for change: facilitating innovation in natural resource management through learning process approaches in rural livelihoods in Zimbabwe. MargrafVerlag. Weirkershein, Germany. 310 p.
- Hellin, J., Erenstein, O., Beuchelt, T., Camacho, C., Flores, D. 2013. Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop–livestock systems in Mexico. *Field Crops Res*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2013.05.014>.
- IDAE (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, ahorro y eficiencia energética con agricultura de conservación). 2009. Ahorro y eficiencia energética en la agricultura. No. 12. Gobierno de España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. 56 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2018. Dirección General de Estadísticas Económicas. México. IX Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Panorama agropecuario en Chiapas Censo Agropecuario 2014-2018. (Consulta: 30 de enero 2019).
- López, B. W., R. Reynoso S., B, Villar S., R. Camas G. y J. O. García S. 2018. Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la región Frailesca, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Volumen 9 (1). Texcoco, Estado de México. Pp. 897-910.
- López, B. W., R. Reynoso S., B, Villar S., R. Camas G. y J. O. García S. 2019. Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Volumen 10 (4): 897-910. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>
- Mandal, K.G, Saha K.P, Ghost K.M, Hati K.M, Bandyopadhyay K.K 2002. Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Energy* 23:337-345.

- Masera, O., Astier, M. 1995. Energía y sistema alimentario en México: Aportaciones de la agricultura alternativa, en *Agroecología y Desarrollo Agrícola en México*, Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, México D. F.
- Méndez-Cortés, V., Mora-Flores, J. S., García-Salazar, J. A., Hernández-Mendo, O., García-Mata, R., y García-Sánchez, R. C. (2019). Tipología de productores de ganado bovino en la zona norte de Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 22 (2019): 305-314.
- Ocaña, J. M. J. 2015. Estudio socioeconómico y ambiental del uso y manejo del rastrojo en los sistemas maíz-ganadería en la región Frailesca, Chiapas. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 110 p.
- Perales, H. R., Benz, B. F., Brush, S. B. 2005. Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 102, 949–954.
- Pimentel D. 2005. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Env. Dev. Sust.* 7: 229-252.
- Pimentel, D. 1980. *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*. CRC Press, Boca Ratón, FL. SP. Pp. 51-90.
- Purroy-Vázquez, R.; Ortega-Vargas, E.; Hernández-Santiago, Q.; Del Ángel-Piña, O.; Meza-Hernández, J.; Reyes-Santiago, B.; Nicolás-Vicente, F. 2019. Maize small-scale agroecosystems in the high Huasteca region of Veracruz: Economic-energetic efficiency and poverty. *Rev. Agric. Soc. Desarro.* 16 (1). Pp.105–121.
- Purroy V., R., F. Gallardo L., P. Díaz R., E. Ortega J., S. López O. y G. Torres H. 2016. Energetic-economic flow as a tool to typify agroecosystems in the center of the state of Veracruz, Mexico. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 3(7):91-101.
- Rodríguez, L. L. y F. Guevara H. 2009. *Innovación y Desarrollo Rural: Reflexiones y experiencias desde el contexto cubano*. 1a edición (Versión Digital). ACSUR-Las Segovias/IIA Jorge Dimitrov. Madrid, España. 174 p.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. *Maíz grano blanco y Amarillo Mexicano*. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Ciudad de México. 36 p. (Consulta: 28 de enero de 2019).
- Sánchez, M. P.; Ocampo, F. I.; Parra, I. F.; Sánchez, E. J.; María, R. A. y Argumedo, M. A. 2014. Evaluación de la sustentabilidad del agroecosistema maíz en la región de Huamantla, Tlaxcala, México. *Agroecología* 9 Pp 111-122.
- Scheaffer, R., W., Mendenhall, L. Otto. 2004. *Elementos de muestreos*, grupo Editorial Iberoamericana, México. p. 15.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. *Atlas agroalimentario (SAGARPA)*. Ciudad de México. En línea, disponible en <http://www.siap.gob.mx/> (Consulta: 12 de enero de 2019).
- StatSoft, Inc. 2007. *STATISTICA (Data analysis software system)*, version 8.0. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).

Toledo, M. V. 2015. ¿De qué hablamos cuando hablamos de sustentabilidad? Una propuesta ecológico política. *Interdisciplina 3 (7)*: 35-55.

### 4.3 Eficiencia energética y económica del agroecosistema maíz bajo tres estrategias de manejo en la Frailesca, Chiapas (México)

Franklin B. Martínez<sup>1</sup>, Francisco Guevara<sup>2\*</sup>, Carlos E. Aguilar<sup>2</sup>, René Pinto<sup>2</sup>, Manuel A. La O<sup>2</sup>, Luis A. Rodríguez<sup>3</sup> and Deb R. Aryal<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad, Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Carretera Ocozocoautla—Villaflores Km. 84.5. C.P. 30470, Villaflores, Mexico; franklinmar7820@yahoo.com.mx

<sup>2</sup> Investigador de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Facultad de Ciencias Agronómicas. Carretera Ocozocoautla-Villaflores Km. 84.5. C.P. 30470, Villaflores, Mexico; ceaj2001@yahoo.com.mx (C.E.A.-J.); pinto\_ruiz@yahoo.com.mx (R.P.-R.); pacholaoarias@gmail.com (M.A.L.O.-A.)

<sup>3</sup> Investigador de Facultad de Ingeniería, Sede Villa Corzo. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), Carretera Villa Corzo-Monterrey Km 3, C.P. 30520, Villa Corzo, Mexico; luislarra2012@gmail.com

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Agronómicas, CONACYT-UNACH, C.P. 30470, Villaflores, Mexico, debraj.aryal@hotmail.com

\* Correspondence: [francisco.guevara@unach.mx](mailto:francisco.guevara@unach.mx)

**Enviado: 04 February 2020; Aceptado: 10 March 2020; Publicado: 15 March 2020.**

**Revista Agriculture**

La caracterización del agroecosistema maíz consistió en el análisis de la eficiencia energética y económica como componentes del sistema, así como las características físicas, químicas y biológicas del suelo, para comprender mejor el agroecosistema. El artículo fue diseñado para conocer el flujo de energía renovable y no renovable que entra y sale del agroecosistema maíz (balance energético), así como los gastos económicos que invierte el productor para producir maíz, bajo las formas de manejo convencional, agroecológico y mixto. En ese sentido, se confirmaron tres estrategias de producción de maíz en la región Frailesca, Chiapas (México): (convencional, agroecológico y mixto) que se practican principalmente en condiciones de pequeños agricultores. La forma de manejo mixta fue más eficiente energéticamente y económicamente la convencional y agroecológica con un beneficio-costo de 1.56 pesos.

Estos resultados responden al primer objetivo específico, a la segunda pregunta de investigación e hipótesis planteadas en el proceso de investigación.

## Energy and Economic Efficiency of Maize Agroecosystem under Three Management Strategies in the Frailesca, Chiapas (Mexico)

Franklin B. Martínez<sup>1</sup>, Francisco Guevara<sup>2\*</sup>, Carlos E. Aguilar<sup>2</sup>, René Pinto<sup>2</sup>, Manuel A. La O<sup>2</sup>, Luis A. Rodríguez<sup>3</sup> and Deb R. Aryal<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad, Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Carretera Ocozocoautla—Villaflora Km. 84.5. C.P. 30470, Villaflora, Mexico; franklinmar7820@yahoo.com.mx

<sup>2</sup> Investigador de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Facultad de Ciencias Agronómicas. Carretera Ocozocoautla-Villaflora Km. 84.5. C.P. 30470, Villaflora, Mexico; ceaj2001@yahoo.com.mx (C.E.A.-J.); pinto\_ruiz@yahoo.com.mx (R.P.-R.); pacholaoarias@gmail.com (M.A.L.O.-A.)

<sup>3</sup> Investigador de Facultad de Ingeniería, Sede Villa Corzo. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), Carretera Villa Corzo-Monterrey Km 3, C.P. 30520, Villa Corzo, Mexico; luislarra2012@gmail.com

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Agronómicas, CONACYT-UNACH, C.P. 30470, Villaflora, Mexico, debraj.aryal@hotmail.com

\* Correspondence: francisco.guevara@unach.mx

Received: 04 February 2020; Accepted: 10 March 2020; Published: 15 March 2020

**Abstract:** Analysis of energy flows and economic dynamics allows the diversity of variables involved in the agroecosystem production to be observed in the same dimension. In this way, efficiency and performance can be analysed integrally to identify critical points to be improved. The objective of this study was to analyse the energy-economic efficiency within three management strategies (Management I, Management II and Management III) of the maize agroecosystem in the Frailesca region of Chiapas (Mexico). The hypothesis was that systemic typologies, defined by modes of production, can lead to different efficiencies for the system performance. The study was descriptive; case studies were selected as representative based on their technological variants. The efficiency analysis was conducted using a balance of inputs and outputs expressed in energy and economic terms. Management III resulted in better energy use efficiency, with 6.47, while Management I and Management II were more economically feasible, with a benefit/cost ratio of 1.56 pesos.

**Keywords:** maize agroecosystem; energy balance; economic feasibility

### 1. Introduction

Maize is one of the most important cereals for human sustenance [1], and its use has extended to animal feeding and obtaining biofuel [2,3], resulting in demand for higher

production. In Mexico, production has increased 75% from 1980 to 2016, while the area cultivated under maize has increased only 3% [4]. This increase is the consequence of genetic improvement of the species and of technology based on synthetic fertilizers and other agrochemicals and machinery, which have resulted in higher yield per unit of area.

In Mexico, maize is cultivated commercially and for home consumption by small farmers and their families, who use different types of management for maize production [5,6]. Previous researches in Frailesca (Chiapas) found, from a technological point of view, a diversity of management strategies for the maize agroecosystem, and two productive visions were identified. On the one hand, there is a conventional vision based on the use of a “technological packages” approach towards agroecosystem intensification, which completely depends on industrial inputs such as the agrochemicals, machines and commercial seeds. The aiming is the economic efficiency of the agroecosystem. On the other hand, there is an environmental vision based on agroecological approaches and promotes the minimum use of industrial inputs, recognises and uses local technologies and seeks for the efficiency of the agroecosystem. However, there are in-between perspectives where characteristics of both visions come together dynamically. Authors like Ocaña [6] and Guevara et al. [7] conducted some studies on those technological aspects observed in both visions as well as in the in-between perspectives.

This background settled up a scenario for the current study, taking into consideration the findings regarding three management strategies for maize production in the region. Management I, with permanent requirements of energy from fossil sources in all its production stages. Such energy supports the agricultural components such as agrochemicals, machinery and water pumps for irrigation, as well as for cultivation practices and harvest [8,10]. On the other side, Management II is associated to agroecological practices and is characterised by greater dependence on labour, leading to reduced industrial energy, incorporation of practices for soil conservation, intercropping and use of residues from harvest. It is closer to a kind of traditional agriculture. In-between there is Management III, combining elements from Management I and II, which uses some industrial energy, integrates soil conservation practices and uses commercial seed varieties into the agroecosystem, among other shared elements.

In the Frailesca, 88% of the growers use fertilizers and 76% use insecticides and herbicides, representing a strong industrial energy component [7]. Moreover, 92% of the growers use improved seed, while 8% prefer local seed [11,12]. These high industrial energy expenditures, as part of the energy input in the production process,

are closely related to greenhouse gas emissions (GGE) [13,14]. This situation means that there has been a substitution of intangible process technologies with a strong component of information and knowledge by technologies of inputs associated with industrial development and, therefore, with higher economic costs [15,17].

For the above reasons, in the methodological context of systemic-energy analyses of agroecosystems, two basic sources of energy are identified: ecological and cultural. The first comes directly from the sun, while the second is attributed to all anthropic activity through agricultural technologies. In turn, this cultural energy can have a biological origin (human work, animal work and organic materials) or industrial (fossil energy, agrochemicals and machinery) [18,19].

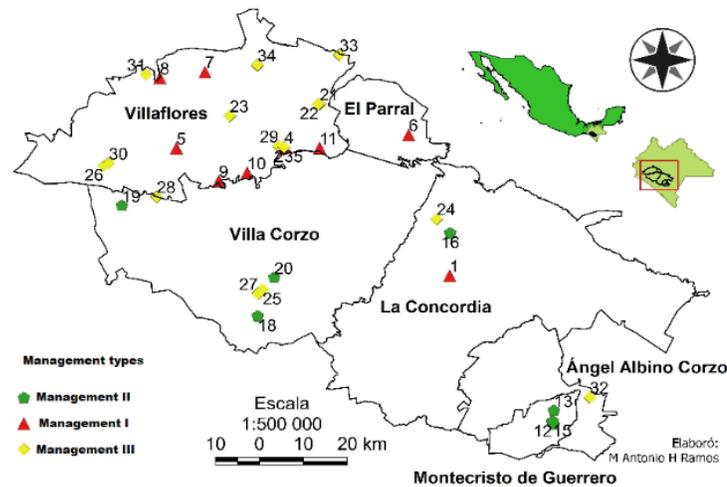
In this sense, it is necessary to measure the energy flow in the system for production of a good to determine the expenditure of energy and improve its efficiency [20] and, in this way, obtain a product that is economically profitable and has less negative impact on the environment [21]. In this sense, energy use efficiency would explain the dynamics of energy within an agroecosystem, ranch or farm, by means of a balance between the energy invested, or energy inputs, and the energy produced, or energy outputs [22,23]. To this end, the objective of this study was to conduct a comparative analysis on the energy-economic efficiency of the maize agroecosystem under three management modes (Management I, Management II and Management III) in the Frailesca (Chiapas), under the hypothesis that systemic typologies, defined by the type of management, will lead to different performance of efficiency indicators assessed from a systemic perspective.

## **2. Materials and Methods**

### **2.1. Location of the Study Area**

The study was conducted in the Frailesca region of the state of Chiapas, which is located on the Central Depression of the State, comprising the following municipalities: Villaflores, Villa Corzo, La Concordia, Angel Albino Corzo, Montecristo de Guerrero and El Parral (Figure 1). It is characterised by its important agricultural activity, especially by its area for maize production. The region's climates are in the groups of warm and semi-warm. Warm sub-humid climate with summer rains predominates, followed by semi-warm humid with abundant summer rain. From May to October, average minimum temperatures oscillate between 12 °C and 21 °C. Rainfall during these months oscillates between 1000 mm and 2600 mm. In the period from November to April, the average minimum temperatures vary from 9 °C to 15 °C, with averages of 12 °C to 15 °C in 92.96% of the region. During this period, rainfall is 25 mm to 30 mm [24].

The Frailesca is characterised by small farmers with plots for maize production up to 6 hectares. Maize is cropped in annual cycles and is based on the rainy season, which is defined from June to December. Traditional tillage techniques are employed by using local tools like the coa (planting stick), hoe, *machete* and simple equipment such as sprinklers for the application of chemical products. During the harvest season, corn small shelling machines are used too. The average maize yield for the Frailesca is 3.5 t ha<sup>-1</sup> and for the state of Chiapas the average maize yield is 1.9 t ha<sup>-1</sup>.



**Figure 1.** Location of the study area. Frailesca Region, Chiapas (Mexico).

## 2.2. Selection of the Study Region and the Farming Styles

The Frailesca was selected because it is one of the largest maize-producing regions of Chiapas in terms of cultivated area. In this region, the maize agroecosystem is the productive base of the families and is complemented with cattle and smaller species livestock. Maize production is both monocropped and intercropped with other crops.

The farming types for the current study were determined by previous works conducted by Ocaña [6]; Guevara et al. [7] and Guevara et al. [16] in order to focus on three basic management strategies in the Frailesca: Management I, associated to conventional practices; Management II related to traditional practices; Management III, related to intermediate management strategies and placed in-between Management I and II. Moreover, proposition-interactive methods were used, in discussion spaces among experts and farmers as suggested by Hagmann and Guevara [25] and Guevara-Hernández [26] in order to figure out the basic elements of local farming.

Some characteristics from earlier studies were confirmed with a farmer's typology developed as complementary part of this research by considering variables such as:

cropped area, labour used, cropping objective, type of seed, fertilizer applied, herbicides used, insecticides spread, machinery used and soil conservation practices implemented (Table 1). Field data was collected from farmers through interviews and surveys. The typology and prior studies were the background to proceed with the current analysis of energy-economic efficiency by focusing on the three maize management modes. Therefore, 35 farms (11 for Management I, nine for Management II, and 15 for Management III) were selected for the study and monitored during a year for data collection. Such farms represent 10% of the total (300) used in a parallel study on sustainability assessment.

**Table 1.** Agroecosystem management modes for maize production in the Frailesca region, Chiapas.

Type of Management and Technology	Management I	Management II	Management III
Soil preparation	Use of small agricultural machinery plus herbicide	Does not remove soil plus herbicide	Use of small agricultural machinery plus herbicide
Type of seed used	Hybrid	Local <sup>1</sup>	Hybrid
Labour	Family and paid	Family, paid and by invitation <sup>2</sup>	Family and paid
Synthetic inputs	Intensive use of herbicides	Less use of herbicides	Intensive use of herbicides
	High amounts of chemical fertilizers	Lower amount of synthetic fertilizers and use of local manures	High amounts of chemical fertilizers
	Generalised use of insecticides and fungicides	Use of botanical techniques for pest and diseases control, and minimal use of synthetic pesticides	Generalised use of insecticides and fungicides
Other practices		Soil conservation practices	Soil conservation practices
	Small agricultural machinery for soil preparation	Intercropping and crop rotation	Small agricultural machinery for soil preparation
	Monoculture	Manual tools for weed management and planting Local knowledge on moon phases for sowing and harvesting	Monoculture
<b>Socio-economic</b>			

Labour	Paid and family	Family, paid and by invitation	Family and paid
Cropping objective (in order of importance)	Sale and family consumption	Family consumption, animals and sale	Sale and family consumption
Profit	Medium	High	High
Cropping area (average)	5.70 hectares	2.66 hectares	2.53 hectares
Land tenure	<i>Ejidal</i> (social) and private	<i>Ejidal</i> (social)	<i>Ejidal</i> and rented
Level of protein produced kg/ha/year	High	Low	Medium
Protected forest area	Scarce	High	Medium

<sup>1</sup>Type of maize been growth or produced by the farmers themselves for more than five years, regardless its origin.<sup>2</sup>Type of collaborative or supportive work among farmers to collectively carry out high-demanding labour activities.

### 2.3. Analysis and Description of the Farming System

A systemic analysis was conducted by considering all the maize agroecosystem components, its inputs and outputs, as well as the relationships between components according to Guevara et al. [27]. A calendar of agricultural activities to figure out the activities in each production type was drawn and used, according to the methodology described by Geilfus [28], and the annual cropping cycle as reference.

### 2.4. Energy Balance

Regarding the energy balance a method of analysis proposed by Meul et al. [29], Funes [30] and Cervantes [19] was used. The method determines cultivation energy inputs and outputs from products of the system and expresses them in energy units to analyse the flows and obtain the corresponding balances. The documented information was the following: cropped area, type and quantity of food or other products obtained and direct or indirect energy expenditures in production, such as human labour or animal work, fuels used, agrochemicals employed such as fertilizers, pesticides, herbicides and other inputs used in the agroecosystem.

The energy equivalences in Table 2 were used as the basis for calculating energy efficiency. The criteria presented by Márquez *et al.* [31] were considered for both direct and indirect energy used in maize production. According to this author, direct energy is

that contained in inputs: fuel, electricity, fertilizers, pesticides, organic fertilizers and biological products. Indirect energy is that associated with processes of manufacture, distribution and maintenance Bowers [32].

**Table 2.** Energy equivalence of inputs and products analysed in the study.

Input	Uni	MJ Unit <sup>-1†</sup>	Source
Human work	Workday	1.05	[33]
Animal work	Workday	7.54	[33]
Seed (in general)	Kg	107.66	[34]
Diesel	L	38.70	[35]
Gasoline	L	34.12	[35]
Ammonium sulphate (21%)	Kg	45.03	[36]
Herbicide	L	238.65	[33]
Insecticide	L	184.22	[33]
Machinery	Hours	87.92	[34]
Farm tractor	Hours	4.25	[37]
Product (Maize, dry grain)	Kg	15.31	[30]

† The energy equivalents contain direct and indirect energy.

## 2.5. Calculation of Indicators for Energy Balance

In order to compare the three technological modes (Management I, Management II and Management III) for maize production, the method proposed by Funes [33,38] and Pimentel [34] was used for the measurement of energy efficiency in all the selected farms, and to analyse the flow of energy input to the agroecosystem, as well as the amount of output. In addition, this method adapts to the nature of the research. In this sense, different formulas were used for the quantification of energy produced: protein produced/ha, number of people who may eat based on energy, number of people who eat based on protein, energy intensity and energy efficiency:

Energy produced for product  $i$  (MJ ha<sup>-1</sup>):  $EP_i = P_i \cdot EE_i / A_i$ .

where:  $EP_i$ —Energy produced for the  $i^{\text{th}}$  product,  $P_i$ —total production,  $EE_i$ —energy equivalent and  $A_i$ —total area for the corresponding product.

Protein produced for a product (Kg ha<sup>-1</sup>):  $PP_i = P_i \cdot EP_i / A_i$

where:  $PP_i$ —Protein produced for the  $i^{\text{th}}$  product,  $P_i$ —Total production,  $EP_i$ —Protein equivalence and  $A_i$ —total area for the corresponding product.

Number of people fed with energy (People ha<sup>-1</sup>):  $PAE = \sum_{i=1}^2 EP_i / RE1$

where:  $PAE$ —People fed by the system with energy per unit of area,  $EP_i$ —Energy produced by product  $i$  and  $RE1$ —Energy requirement of one person for one year.

Number of people fed with protein (People  $ha^{-1}$ .year):  $PAP = \sum_{i=1}^2 PP_i / RP1$

where:  $PAP$ —People fed by the system with protein per unit of area,  $PP_i$ —Protein produced by product  $i$  and  $RP1$ —energy requirement of one person for one year.

Energy intensity ( $MJ.kg^{-1}$ ) energy required per kg of food produced:

$$IE = EUT / PT$$

where:  $IE$ —Energy intensity,  $EUT$ —Total used energy, sum of inputs multiplied by their energy equivalents and  $PT$ —total production in kg.

Energy yield ( $kg.MJ^{-1}$ ) Production obtained per MJ consumed:

$$RE = PT / EUT$$

where:  $RE$ —energy yield,  $EUT$ —Total used energy, sum of inputs multiplied by their energy equivalents and  $PT$ —Total production in kg.

Used energy efficiency, Energy produced by each unit of energy consumed.

$$EE = EPT / EUT$$

where:  $EE$ —Energy efficiency,  $EUT$ —Total used energy, sum of inputs multiplied by their energy equivalents and  $EPT$ —Total produced energy, sum of products multiplied by their energy equivalents.

## 2.6. Economic Efficiency of the Farming System

To calculate economic efficiency, production costs as well as incomes from sale of the harvest were considered. With data on incomes and expenditures, the Benefit/Cost ratio was calculated as the indicator of economic efficiency using the formula:

$$Benefit/Cost = Incomes/Costs$$

Field data were obtained through direct interviews with farmers. The costs of agricultural activities, inputs used in each activity, labour, economic value of crop yields and type of product obtained were considered in order to evaluate energy inputs and outputs [39].

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Characteristics of the Maize Production Modes

The three management modes studied (Management I, Management II and Management III) were based on mono-cropped maize. They are carried out in one annual cycle and are rainfed; that is, moisture is provided during the rainy season from June to December. Traditional work techniques are used with typical tools such as the “coa” (planting stick), hoe, machete and simple equipment such as sprayers for applying chemical products. For harvesting, maize de-graining machines are used.

The use of agrochemicals is common to the three management types studied, but they differ in magnitude of use. Management I is based on mechanised tillage, use of hybrid seed and high quantities of agrochemicals, while the other two modes (Management II and Management III) use local varieties, coinciding with the results published by Damián *et al.* [40] and Delgado *et al.* [12].

The quantity of industrialised inputs used differ in the three management types (Table 3). Management I is characterised by intensive use of herbicides, insecticides, fertilizers and fungicides, from seed treatment to crop growth and development. In the case of Management II, insecticides are used to treat seed before sowing to control the borer *Spodoptera frugiperda* Smith during crop growth. Traps with natural attractants are also used. In management III, herbicides are used in larger quantities than in the other two modes, as well as insecticides, mechanised tillage and hybrid seed. In all cases, growers sell most of the grain immediately after harvest. The rest is stored either on the cob or as grain for home consumption and feed for backyard animals. By type and quantity of agrochemicals used, the conventional and mixed modes are those that use more chemical products.

**Table 3.** Inputs used in a crop cycle/hectare for each type of maize management.

Input	Unit of Measure	Amount of Inputs Used ha <sup>-1</sup>						Sig.
		Management I		Management II		Management III		
		Mean	S.E.	Mean	S.E.	Mean	S.E.	
Seed (maize)	kg	20	0.000	20	0.000	20	0.000	ns
Diesel	L	10	1.612	8	2.646	10	1.648	ns
Gasoline	L	15 <sup>a</sup>	3.435	10 <sup>b</sup>	1.936	15 <sup>a</sup>	2.392	0.00
Ammonium Sulphate 21%	kg	800 <sup>a</sup>	63.246	600 <sup>b</sup>	75.00	800 <sup>a</sup>	70.711	0.00

Glyphosate	L	3.5 <sup>a</sup>	0.5477	1.5 <sup>b</sup>	0.500	3 <sup>a</sup>	0.6814	0.00
Paraquat	L	5 <sup>a</sup>	0.922	1 <sup>c</sup>	0.500	3 <sup>b</sup>	0.756	0.00
2-4 D amine	L	3 <sup>a</sup>	0.447	1 <sup>c</sup>	0.000	2 <sup>b</sup>	0.655	0.00
Paraquat + Diuron	L	0 <sup>c</sup>	0.000	3 <sup>a</sup>	0.500	2 <sup>b</sup>	0.655	0.00
Methyl parathion	L	2 <sup>b</sup>	0.742	1 <sup>c</sup>	0.433	3 <sup>a</sup>	0.463	0.00
Aluminium phosphorus	Tablet	3 <sup>a</sup>	0.632	0 <sup>c</sup>	0.000	2 <sup>b</sup>	0.756	0.00
Cypermethrin	L	3 <sup>a</sup>	0.775	1 <sup>c</sup>	0.707	2 <sup>b</sup>	0.756	0.00
Mancozeb	kg	3 <sup>a</sup>	0.632	1 <sup>c</sup>	0.707	2 <sup>b</sup>	0.756	0.00

Different letters in the same rows indicate statistical difference ( $p \leq 0.05$ ); Duncan (1955). S.E.: Standard error; ns: Not significant, Sig: Significance.

The use of fertilizers is another common aspect to the three types of maize agroecosystem management. The difference lies in the quantity used; Management II uses the least (Table 3). This agrees with [40], who mentions that the use of herbicides and fertilizers is common to all models of maize production, both Management I and Management III. However, they differ in the quantities used, in efficient use of nitrogen and in GGE [14].

Management II uses 20 kg ha<sup>-1</sup> of a landrace seed known locally as “macho”. Seed is obtained from the last harvest or is acquired from another grower of the same community if for some reason the seed is lost. The cultivated area is generally one hectare with an average yield of 3411.1 kg ha<sup>-1</sup>. Of the harvest, 93.8% is sold and the rest is used for home consumption and animal feed.

The system’s largest energy costs are from external sources, from acquisition of herbicides, insecticides, fungicides, fertilizers and fuel used in land preparation and de-graining ears. This coincides with Iermanó and Sarandón [41], who pointed out that agricultural production generates an increase in the use of fossil fuel and its derivatives. The energy from labour is that of the grower himself, and only for some activities, such as sowing, fertilisation and de-graining, paid labour is required. During the entire crop cycle, 137 workdays/ha are needed; of these, only 15% is paid since the rest is supplied by the grower or his family.

Management I uses hybrid seed, 20 kg ha<sup>-1</sup>. On average, one hectare is planted for an average yield of 4727.2 kg ha<sup>-1</sup>, of which 95.1% is sold and the rest is used for home consumption and feeding the animals, generally, backyard poultry. Most of the energy used in the system comes from external sources through acquisition of herbicides,

insecticides and fertilizers. Labour used is 110 workdays/ha, of which 23% is paid the rest is family labour.

Management III is based on hybrid varieties as well as landraces. The amount of seed necessary to plant one hectare is 20 kg (62,500 seeds/bag). The variety used is often attacked by pests and diseases during the season of intense rains. Nevertheless, average yield is 4033.3 kg ha<sup>-1</sup>, 99.1% of which is sold. Like the other two systems, most of the energy expenditure comes from external sources, which include herbicides, fertilizers and fuel. The labour needed is 117 workdays/ha, of which 19% is paid.

### **3.2. Productive Cycle and Types of Management**

The calendar of agricultural activities is similar for the three management types. The crop cycle begins with sowing in June and early July after the rainy season has begun. In March and April, “rastroteo” (grazing animals in the plots where maize had been planted) is practiced, anti-fire gaps are constructed, residues are burned and herbicide is applied. In the three modes of agroecosystem management, fertilizer is applied twice, in July and August (20 and 40 days after sowing), while herbicides are applied during June and July. Harvest is in December and occasionally postponed until January or February of the following year. One article [42] gives a similar description and highlights the harvest for the sale of grain and the care of seeds for the next crop cycle as important aspects.

### **3.3. Use of Labour**

Availability and use of labour in agricultural activities for each mode of production studied vary and depend on both the activity and the day wages paid by the grower (Figure 2). Depending on the activity, a full day of work is 6 h, for which 120 pesos (6 USD) is paid. For de-graining the maize, work is around one hour, and the full day is paid. There are also communities where this activity is done by invitation; the practice is collaborative and rotational for the grower that requires additional labour at an agreed moment. In the case of labour provided by the grower of each production unit, a workday can last 10 h, which means much longer workdays, which increase the energy expenditure for the production system. When the land where the maize will be planted is burned, the grower may work for 24 h to take the necessary measures to contain the fire and comply with the regulations established by the National Commission of Natural Protected Areas (CONANP, abbreviation in Spanish).

The activities carried out in each management type are differentiated by the number of working days (6 h/day) used: Management I (110 days/cycle), Management II (137

days/cycle) and Management III (117 days/cycles). Namely, 660 h, 822 h and 702 h, respectively, are needed for maize production during a crop cycle. This is because in Management II, more working days are used for grain-bagging and transport, but also because farms are located far from the sales centre. Nonetheless, the three management modes share common points, e.g., in the number of workings days used for sowing (6), fertilizers application (5) and fungicides application (3). These similarities are based on established social representations among the farmers. In other words, these variables are a kind of common factor for managing strategies in the Frailesca and based on a shared and little-questioned knowledge. The results for Management I coincide with those reported by Delgado *et al.* [12] and Purroy *et al.* [43], who found that within conventional management, more machinery is used and the need for labour is reduced.

Management II concentrates 51% (70 workdays) of the total days employed for burning, harvesting, bagging and transport; moreover, Management III invests 47% (55 workdays) of days for the same activities. The results show that these activities are the most-labour demanding in both management types. This agrees with Purroy *et al.* [43] in relation to labour demands for harvest, bagging and transport.



\*\*\* Significant; NS: Not significant

**Figure 2.** Labour needed for agricultural activities in three management modes for maize production (workday/h) in the Frailesca region (Chiapas).

### 3.4. Energy Balance

From an energy perspective, the three modes of managing the maize agroecosystem have an efficiency of one, indicating their energy feasibility. Management II had the lowest energy use efficiency (4.65 MJ) because it generated a high energy expenditure, with 11,831.18 MJ ha<sup>-1</sup>, and lower yield than the other management modes. These results contrast with those found by Funes *et al.* [44], who indicated that in food production agroecological systems in Cuba, the least diversified systems were the least productive, but they tended to be more energy efficient [45]. However, in the Frailesca mono-cropped maize predominates under any management type. Additionally, the energy efficiencies of Management I (6.04 MJ) and Management III (6.47 MJ) are very close to that reported by Alemán and Brito [21] for mono-cropped maize with conventional management methods. In this sense, both systems (Management I and Management III) increased the use of energy inputs, suggesting that these inputs are used in order to be more efficient. This also coincides with Sánchez and Romero [20]. However, Pimentel [46] stated that average energy use efficiency for maize is 41.84 MJ, produced for each invested MJ. This indicates that even under this criterion, in general, the three modes of management exhibit low energy use efficiency. For this reason, the study of agroecosystem energy use efficiency can be used as a tool for characterizing and typifying these systems, according to Purroy *et al.* [47] and Stark *et al.* [48].

The analysis of energy use intensity for the management types (I, II and III) in the agroecosystem revealed that to produce one kilogram of maize, 2.87, 3.61 and 2.63 MJ, respectively, are required. This shows that most farmers depend on fossil energy and on agrochemicals, coinciding with results obtained by Pimentel and Pimentel [49]. Thus, the three management modes are inefficient in terms of fossil energy use, which could be explained by deterioration of the soil, timing of input application and distribution of rainwater at the critical stages of growth and development of the agroecosystem. In synthesis, these systems are not sustainable in the long term because the soil is constantly being degraded.

In terms of energy from agrochemicals, more than 50% of the energy expenditure depends on that supplied by ammonium sulphate fertilizer. For the three types of the maize agroecosystem management (I, II and III), around 36,024,27,018 and 36,024 MJ, respectively, are used. This coincides with IDAE [37], who demonstrated that nitrogen fertilizers are those that demand more than half the energy cost of a crop.

Moreover, the higher energy cost is due to inputs such as herbicides and insecticides required for pest and disease control. However, the energy contribution of these

expenditures tends to be compensated by the elimination of competition for the crop and of damage to the maize plant, resulting in higher yield. Regarding the other inputs, such as fuel, the energy cost is low in the three systems since it is only consumed by the ear de-grainer and the tractor for preparing the soil and occasionally to transport the harvest. Valdés *et al.* [50], in a study on energy use efficiency of diverse agroecosystems in Cuba, showed that the energy balance is significantly affected by external inputs needed to maintain production.

Based on yields, Management I can feed more people per unit of area, in terms of both energy and protein, than Management II or Management III (Table 4). This indicator has environmental significance since growing social demand for food imposes a need to obtain yields that are sufficient to slow the expansion of the agricultural frontier. These results coincide with Valdés *et al.* [50], who stated that in energy terms monocropping high yielding crops produces large quantities of energy that can feed more people per unit of area. Schiere *et al.* [51] showed that the number of people that one hectare of land planted with a single crop (maize) can feed is 10.4, as energy source, and 5.4, as protein source.

**Table 4.** Energy balance and potential for energy and protein production within three management modes for the maize agroecosystem.

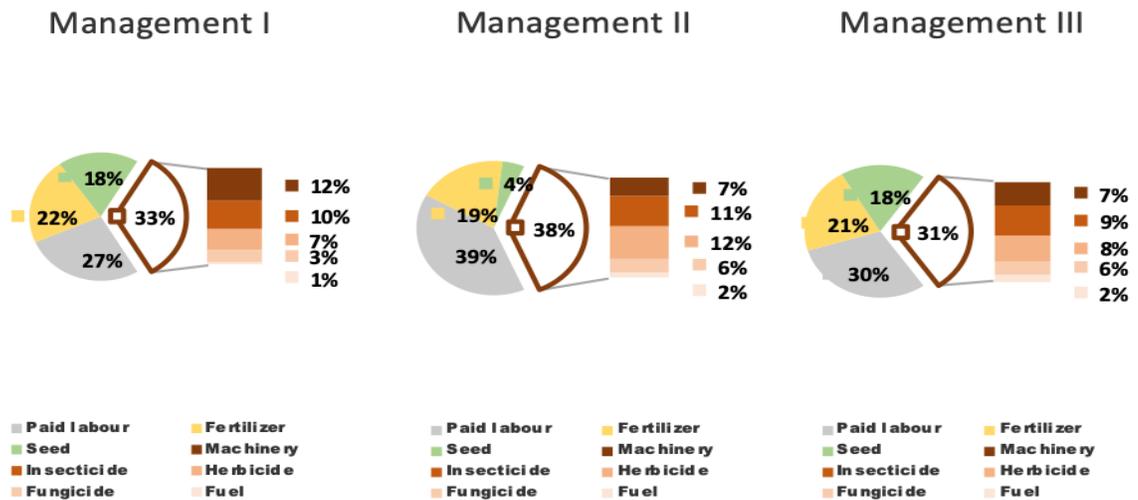
	Management I		Management II		Management III		Sig.
	Mean	S.E.	Mean	S.E.	Mean	S.E.	
<b>Production Factors</b>							
Planted area (ha)	1		1		1		ns
Yield (kg ha <sup>-1</sup> )	4727.2 <sup>a</sup>	368.75	3411.1 <sup>b</sup>	407.66	4033.3 <sup>a</sup>	315.77	0.069
Energy produced (EP) (MJha <sup>-1</sup> )	73,760.18	6044.17	54,982.67	6682.08	65,387.8	5175.92	ns
Protein produced (Kg ha <sup>-1</sup> )	465.85	41.77	362.53	46.17	434.30	35.77	ns
Number of people fed ha <sup>-1</sup> /year							
Maize	24.06 <sup>a</sup>	1.88	17.36 <sup>c</sup>	2.08	20.53 <sup>b</sup>	1.36	0.069
Protein sources	23.40	2.09	18.21	2.31	21.82	1.79	ns
Energy consumed (EC)	12,177.13 <sub>a</sub>	439.98	11,831.18 <sub>a</sub>	486.42	10,099.83 <sub>b</sub>	376.78	0.002
Human and animal work (MJ ha <sup>-1</sup> )	260.72	24.05	268.66	26.59	304.73	20.60	ns

Inputs used (MJ ha <sup>-1</sup> )	11,916.4 <sup>a</sup>	430.74	11,562.51 <sup>a</sup>	476.20	9795.44 <sup>b</sup>	368.86	0.001
Energy intensity (MJkg <sup>-1</sup> )	2.87 <sup>a</sup>	0.30	3.61 <sup>a</sup>	0.33	2.63 <sup>b</sup>	0.25	0.034
Energy yield (kgMJ <sup>-1</sup> )	0.395 <sup>a</sup>	0.00	0.305 <sup>b</sup>	0.00	0.430 <sup>a</sup>	0.00	0.039
Energy use efficiency (EP/EC)	6.04 <sup>a</sup>	0.52	4.65 <sup>b</sup>	0.57	6.47 <sup>a</sup>	0.44	0.038

Different letters in the same rows indicate statistical difference ( $p \leq 0.05$ ); Duncan (1955). S.E.: Standard error; ns: not significant. Sig: Significance.

### 3.5. Benefit-Cost Ratio

The total cost of Management I is higher than the others (Figure 3), mostly due to the high price of the seed, fertilizers, land preparation and labour that the maize agroecosystem demands. Labour and fertilizers account for 27% and 21.8%, respectively, of the total production cost. Management II and Management III present the same tendency. The costs of agrochemicals make maize production more expensive under the three management modes in the study area. The three types of management (I, II and III) spend 54.72, 55.64 and 51.83%, respectively, of the total production cost on agrochemicals, which has negative implications for the environment and indicates that they are unsustainable practices, even though the profit margins may justify them economically.



**Figure 3.** Structure and percentages of economic expenses in three management modes for maize production in the Frailesca region (Chiapas).

By percentage of commercialised harvest, grain yield, and sale price, Management I obtain the highest economic gains (Table 5). This is due not only to higher yields, but also to the 95.1% of the harvest that is sold. In contrast, Management II commercialises 93.8%, while Management III obtains good grain yield and commercialises 99.1%, and is second place in terms of economic income.

**Table 5.** Yields and economic income by type of maize production in the Frailesca (Chiapas).

Mode of Production	Yield(kg/ha)	Quantity Commercialised (kg)	%	Price/kg (pesos)	Income/ha (pesos)
Management I	4727.2	4500	95.1	4.00	18,000
Management II	3411.1	3200	93.8	4.20	13,440
Management III	4033.3	4000	99.1	4.10	16,400

These results coincide with those obtained by Miranda *et al.* [52] and Mandal *et al.* [53], who stated that mono-cropped maize systems have better yields in both economic gains and energy. Management I and Management II have a better benefit/cost ratio of 1.56, while Management III has one of 1.49. This means that, according to the economic feasibility analysis of the three management modes, Management I and Management II are more feasible, with a profit margin of 0.56 per invested peso (Table 6).

**Table 6.** Economic feasibility analysis based on the benefit/cost ratio of three maize production types.

	Management I	Management II	Management III
Income (\$)	18,000	13,400	16,400
Expenditure (\$)	11,485	8565.8	11,002.7
Benefit/cost	1.56	1.56	1.49

Several factors can affect economic feasibility, among which are high costs of external inputs required by the three management modes and labour costs versus prices of the product at the time of commercialisation. Additionally, low crop yields limit the energy use and economic efficiency of these systems.

The three different management modes make use of fossil energy, one with greater intensity (Management I), and has long-term consequences on natural resources, especially on the soil, because it contributes to its degradation and automatically leads to a production capacity reduction. In that sense, it is important to carry out soil conservation practices as indicated by Purroy *et al.* [54] in order to promote the soil biodiversity and enhance the overall productivity of tropical agroecosystems. Therefore, energy efficiency should be relying on a better use of renewable energy, because in Mexico, during the last 10 years the use of oil (sub) products in the agriculture sector has significantly increased [55,56]. Despite national policies are recently promoting renewable energies and products in agriculture but in an incipient and non-generalised strategy [57,58].

#### **4. Conclusions**

Three maize production strategies were confirmed in the Frailesca, Chiapas (Mexico): Management I, II and III, which are practiced mostly under smallholder conditions. They use landrace and hybrid seeds as well as intensive use of labour, whose economic costs oscillate between 26.99 and 39.69% of the total production cost. Management III was found to be the most efficient from an energy perspective, while Management I has the highest capacity of protein and can feed a larger number of people per hectare in one year, although it uses larger quantities of industrial inputs in its production process. From an economic point of view, Management I and Management II were more efficient in the benefit-cost relationship with 1.56 pesos; for each invested peso, there is a profit margin of 0.56 peso. Although Management II did not present a high yield condition, its low production cost made it efficient economically.

The inputs and supplies from industrial origins and non-renewable sources used in the maize agroecosystem of the Frailesca are different in the three technological modes here analysed. Management I is characterised by the intensive use of herbicides, insecticides, fertilizers and fungicides, from the seed treatment to the growth and crop development. In Management II, insecticides are used for the seed treatment before sowing. In Management III, herbicides are commonly used in higher quantities—as well as insecticides—than the previous management modes; mechanisation (small equipment) for soil preparation and commercial seeds are also utilised. In the three management modes, most of the farmers sell the maize immediately after harvest; the remaining maize is stored either on the cob or as grain for the family's own consumption and used for feeding barn animals. Regarding the type and quantity of agrochemicals, Management I and Management III use the most. The use of fertilizers is another common and shared element among the three management strategies and particular differences lie in the quantity used, being Management II where minimum applications are required.

**Author Contributions:** Conceptualisation, F.G.-H. and D.R.A.; data curation, R.P.-R., M.A.L.O-A. and L.A.R.-L.; formal analysis, F.B.M.-A. and M.A.L.O-A.; investigation, F.B.M.-A. and C.E.A.-J.; Methodology, F.G.-H., L.A.R.-L. and D.R.A.; software, M.A.L.O-A.; supervision, F.G.-H. and C.E.A.-J.; Validation, R.P.-R. and D.R.A.; Writing original draft, F.B.M.-A. and F.G.-H.; Writing—review and editing, F.B.M.-A., F.G.-H., M.A.L.O-A. and L.A.R.-L.

**Funding:** This article was supported by the Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) from the Ministry of Education of Mexico (SEP), which provided the funds to get it published. The authors are very grateful to this institution.

**Acknowledgments:** This article is part of the doctoral dissertation entitled “Sustainability of the maize (*Zea mays* L.) agroecosystem in the Frailesca region, Chiapas, Mexico” of the first author, who is grateful to the Universidad Autónoma de Chiapas for its support and the opportunity to pursue the doctoral studies, PRODEP programme for the scholarship granted and the farmers who directly and indirectly participated in this research.

**Conflicts of Interest:** The authors declare that there is no conflict of interests between them and the journal, or to any other instance or institution related to this research. This paper, due to the type of field work carried out, does not present any ethical or bioethical implications. Finally, if there is any additional data or information required, it will be provided by the first author or the corresponding author.

## References

- Perales, H.R.; Benz, B.F.; Brush, S.B. Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. **2005**, *102*, 949–954.
- Ferraro, O.D. Energy use in cropping systems: A regional long-term exploratory analysis of energy allocation and efficiency in the Inland Pampa (Argentina). *Energy* **2012**, *44*, 490–497, doi:10.1016/j.energy.2012.05.053.
- Hellin, J.; Erenstein, O.; Beuchelt, T.; Camacho, C.; Flores, D. Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop–livestock systems in Mexico. *Field Crops Res.* **2013**, doi:10.1016/j.fcr.2013.05.014.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). *Atlas Agroalimentario Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*; Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA): Mexico, City, Mexico, 2017. Available online: <http://www.siap.gob.mx/> (2 February 2020).
- Hernández-Ramos, M.A.; Rodríguez-Larramendi, L.A.; Guevara-Hernández, F.; Rosales-Esquinca, M.D.L.Á.; Pinto-Ruiz, R.; Ortiz-Pérez, R. Molecular

- characterization of local maize varieties from the Biosphere Reserve La Sepultura, Mexico. *Agron. Mesoam.* **2017**, 28, 69–83 ,doi:10.15517/am.v28i1.21612\_
- Ocaña, J.M.J. Estudio Socioeconómico y Ambiental del uso y Manejo del Rastrojo en los Sistemas Maíz-ganadería en la Region Frailesca, Chiapas. Master's Thesis, Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Mexico, 2015; p. 110.
- Guevara, H.F.; Delgado, R.F.; Arias, L.M.; Rodríguez, L.L.; Ortiz, P.R.; Delgado, R.J.A.; Venegas, V.J.A.; Pinto, R.R. Comparative energy-economic analysis of the maize agroecosystem under conventional and conservation practices in the Frailesca región, Chiapas, Mexico. *Rev. Fac. Agron. Univ. Zulia***2018**, 35, 343–364.
- Denoia, J.; Monticos, S. Energy balance in field vegetable crops in Rosario (Santa Fe, Argentina). *Cienc.DocenciaTecnol.* **2010**, XXI, 145–157; Available online:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14515335007> (accessed on 3 December 2019).
- Denoia, J.; Vilche, M.; Montico, S.; Bonel, B.; Di Leo, N. Descriptive Analysis of the Evolution of the Technological Models Prevalent in Zavalla District (Santa Fe), from an Energetic Perspective. *Cienc. DocenciaTecnol.* **2006**, XVII, 211–226.
- Bonel, B.; Montico, S.; di Leo, N.; Denoia, J.; Vilche, M. Energy analysis of the land units in a rural basin. *Rev. FAVECienc. Agrar.* **2006**, 4, 37–47.
- Rodríguez-Larramendi, L.; Guevara-Hernández, F.; Ovando-Cruz, J.; Marto-González, J.R.; Ortiz-Pérez, R. Growth and harvest index of local maize varieties (*Zea mays* L.) in communities of the Frailesca region of Chiapas, Mexico. *Cultiv. Trop.* **2016**, 37, 137–145, doi:10.13140/RG.2.1.1404.6967.
- Delgado-Ruiz, F.; Guevara-Hernández, F.; Acosta-Roca, R. Farmers' criteria for maize (*Zea mays* L.) selection in Villaflores and Villa Corzo, Chiapas, Mexico. *Cienc. UAT***2018**, 13, 123–134;doi:10.29059/cienciauat.v13i1.985.
- Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense (CEDECO). *Emisión de Gases con Efecto Invernadero y Agricultura Orgánica*; CEDECO: San José, Costa Rica, 2007; p. 59.
- Vergara, R.D.R.G.; Díaz, R.Á.; Alvarez, P.A. ***Effect of Nitrogen Fertilization on Maize Crop to Characterize Greenhouse Gas Emissions***; Universidad Nacional Abierta y a Distancia: Bogotá, Colombia; 2017.
- Vilche, S.M.; Denoia, J.; Montico, S.; Bonel, B.; Dileo, N. Energy usage in agropecuarian systems at the Argentinian district of Zavalla, Santa Fe. *Rev. Científica Agropecu.* **2006**, 10, 7–19.
- Guevara-Hernández, F.; Rodríguez-Larramendi, L.A.; Hernández-Ramos, M.A.; Fonseca-Flores, M.A.; Ruiz, R.P.; Reyes-Muro, L. Energy and economic efficiency of maize in the buffer zone of the Biosphere Reserve “La Sepultura”, Chiapas, Mexico. *Rev. Mex. Cienc. Agrícolas***2015**, 6, 1929–1941.

- Hernández, R.M.A.; Hernández, F.G.; Larramendi, L.A.R.; Esquinca, M.Á.R.; Castro, H.G.; López, A.H.; Ruiz, R.P.; Jonapá, F.J.M. Eficiencia energética y económica del proceso de producción del sistema maíz en una comunidad rural. In *Naturaleza-Sociedad: Reflexiones desde la Complejidad*; Flores, A.C., Báez, P.A.O., Rodríguez, A.D., Rábago, F.G., Eds.; CIISDER, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias sobre Desarrollo Regional, Universidad Autónoma de Tlaxcala: Tlaxcala, Mexico, 2003; pp: 130–150, ISBN 978-607-7698-98-2.
- Dussi, M.C.; Fernández, C.; Flores, L. Towards sustainable use of energy in agroecosystems. *Cuad. Agroecol.* **2018**, *13*, 9.
- Cervantes, O.A. Transformación agroecológica en el cantón de Mora en Costa Rica y emigración indígena huetar (1900–1955). *Rev. Hist.* **2016**, *74*, 116.
- Sánchez-Morales, P.; Romero-Arenas, O. Fossil fuels and CO<sub>2</sub> traditional milpa and monoculture maize systems in Tlaxcala, Mexico. *Rev. Mex. Cienc. Agrícolas* **2017**, *4*, 919–932.
- Pérez, R.A.; Flores, J.C.B. Balance energetic en dos sistemas de producción de maíz en las condiciones de Cuba. *Cent. Agrícola.* **2003**, *30*, 84–87.
- Pervanchon, F.; Bockstaller, C.; Girardin, P. Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: The energy indicator. *Agric. Syst.* **2002**, *72*, 149–172.
- Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense (CEDECO). *Agricultura Orgánica y Gases con Efecto Invernadero*; CEDECO: San José, Costa Rica, 2005; p. 27.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). *Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 2011/Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática*; INEGI: Aguascalientes, Mexico, 2012; p. 155.
- Hagmann, J.; Guevara, H. *Aprendiendo Juntos Para el Cambio: La Facilitación de Innovaciones Para el Manejo Sustentable de Recursos Naturales y el Desarrollo Rural a Través de Procesos Participativos*; Serie Estudios de Caso; Red de Estudios para el Desarrollo Rural A.C. y Fundación Rockefeller, Oaxaca de Juárez: Oaxaca, Mexico, 2004; p. 153.
- Guevara-Hernández, F. *¿Y después qué?: Action-Research and Ethnography on Governance, Actors and Development in Southern Mexico*; Technology and Agrarian Development Group, Department of Social Sciences, Wageningen University and Research Centre: Wageningen, The Netherlands, 2007; p. 223.
- Guevara, H.F.; Rodríguez, L.L.; Arias, L.M.; Gómez, C.H.; Fonseca, F.M.; Pinto, R.R.; Ponce, P.I.; Jonapá, M.F.; Carbonell, C.J.; Hernández, L.A.; et al. *Metodología Para el Desarrollo de Procesos de Innovación Local a Través de la Investigación Acción*; Serie libros de texto: No.1. Instituto de investigaciones agropecuarias “Jorge Dimitrov”; Bayamo, Cuba, 2011; p. 27.

- Geilfus, F. *80 Herramientas Para el Desarrollo Participativo*; Diagnóstico, Planificación Monitoreo y Evaluación; IICA: San José, CA, USA, 1997; p. 217.
- Meul, M.; Nevens, F.; Reheul, D.; Hofman, G. Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2007**, *199*, 135–144.
- Funes, M.F. *Agricultura con Futuro, la Alternativa Agroecológica Para Cuba*; Estación Experimental Indio Hatuey, Universidad de Matanzas: Matanzas, Cuba, 2009; p. 176.
- Márquez, M.; Valdés, N.; Ferro, M.E.; Paneque, I.; Rodríguez, Y.; Chirino, E.; Gómez, L.M.; Vargas, D. Análisis agroenergético de tipologías agrícolas en La Palma. In *Innovación Agroecológica, Adaptación y Mitigación del Cambio Climático*; Ríos, L.H., Vargas, V.D., Funes, M.F., Eds.; Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA): San José de las Lajas, Cuba, 2011; p. 248.
- Bowers, W. Agricultural field equipment. In *Energy in the World Agriculture, Energy in Farm Production*; Fluck, R.C., Ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 1992; Volume 6, pp: 117–129.
- Funes, M.F. *Sistema Para el Análisis de la Eficiencia Energética de Fincas Integrales*; IIPF (Instituto de Investigación de Pastos y Forrajes): Matanzas, Cuba, 2001.
- Pimentel, D. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Environ. Dev. Sustain.* **2005**, *7*, 229–252.
- Masera, O.; Astier, M. *Energía y Sistema Alimentario en México: Aportaciones de la Agricultura Alternativa, en Agroecología y Desarrollo Agrícola en México*; Universidad Autónoma Metropolitana: Xochimilco, Mexico, 1993.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). *Ahorro, Eficiencia Energética y Fertilización Nitrogenada*; IDAE: Madrid, Spain, 2007; p. 44.
- Fluck, C.R. *Energy in World Agriculture: Energy in Farm Production*; Agricultural Engineering Department, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida: Gainesville, FL, USA, 1992; p.384.
- Funes, F.; Monzote, F. *Eficiencia Energética en Sistemas Agropecuarios: Elementos Teóricos y Prácticos Para el Cálculo y Análisis Integrado*; Estación experimental “Indio Hatuey”, Universidad de Matanzas, Ministerio de Educación Superior: Matanzas, Cuba, 2009; p. 38.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). *La Formulación de Recomendaciones a Partir de Datos Agronómicos: Un Manual Metodológico de Evaluación Económica*; CIMMYT: Mexico City, Mexico, 1988; p. 86, ISBN 968-6127-24-0.
- Damián, H.M.; Ramírez, V.B.; Aragón, G.A.; Huerta, L.M.; Sangerman, J.; Romero, A. Handling of maize in the state of Tlaxcala, Mexico: Between the conventional and the agroecological. *Rev. Latinoam. Recur. Nat.* **2010**, *6*, 67–76.
- Iermanó, M.J.; Sarandón, S.J. Eficiencia energética de cultivos anuales en dos tipos de agroecosistemas de la Región Pampeana Argentina. In *Proceedings of the*

- Memorias del V Congreso Latinoamericano de Agroecología, La Plata, Argentina, 7–9 October 2015; p. 5.
- Aguilar, J.C.E. Informe Final del Estudio técnico: Validación de Semilla y del Proceso de Mantenimiento de Agroecosistema en los Ejidos de California, Nueva Esperanza y Flores Magón localizados en la Zona de Amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera la Sepultura; UNACH: Municipio de Villaflores, Chiapas, Mexico, 2010.
- Purroy-Vázquez, R.; Ortega-Vargas, E.; Hernández-Santiago, Q.; Del Ángel-Piña, O.; Meza-Hernández, J.; Reyes-Santiago, B.; Nicolás-Vicente, F. Maize small-scale agroecosystems in the high Huasteca region of Veracruz: Economic-energetic efficiency and poverty. *Rev. Agric. Soc.Desarro.* **2019**, *16*, 105–121.
- Funes, M.F.; Suarez, J.; Blanco, D.; Reyes, F.; Cepero, L.; Rivero, J.L.; Rodríguez, E.; Savran, V.; del Valle, Y.; Cala, M.; et al. Initial evaluation of integrated systems for food and energy production in Cuba. *Pastos Forrajes* **2011**, *34*, 445–462.
- Funes, F.; Monzote, M.; Lantinga, E.A.; van Keulen, H. Conversion of specialised dairy farming systems into sustainable mixed farming systems in Cuba. *Environ. Dev. Sustain.* **2008**, *11*, 765–783.
- Pimentel, D. *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 1980.
- Purroy-Vasquez, R.; Gallardo-Lopez, F.; Diaz-Rivera, P.; Ortega-Jimenez, E.; Lopez-Ortiz, S.; Torres-Hernandez, G. Energetic-economic flow as a tool to typify agroecosystems in the center of the state of Veracruz, Mexico. *Ecosistemas Recur. Agropecu.* **2016**, *3*, 91–101.
- Stark, F.; Moulin, C.H.; Cangiano, C.; Vigne, M.; Vayssières, J.; González, G.E. Methodologies for evaluating farming systems. Part I. Generalities. Life cycle analysis (LCA) and ecological network analysis (ENA). *PastosForrajes* **2016**, *39*, 81–88.
- Pimentel, D.; Pimentel, M. El uso de la energía en la agricultura, una visión general. *LEISA Rev. Agroec.* **2005**, *21*, 5–8.
- Valdés, N.; Pérez, D.; Márquez, M.; Angarica, L.; Vargas, D. Funcionamiento y balance energetic en agroecosistemas diversos. *Cultiv. Trop.* **2009**, *30*, 36–42.
- Schiere, J.B.; Ibrahim, M.N.M.; Van Keulen, H. The role of livestock for sustainability in mixed farming: Criteria and scenario studies under varying resource allocation. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2002**, *90*, 139–153.
- Miranda, T.; Rey, M.; Hilda, M.; Julio, B.; Pedro, D. Economic valuation of environmental goods and services in two ecosystems of cattle use. *Zootec. Trop.* **2008**, *26*, 187–189.
- Mandal, K.G.; Saha, K.P.; Ghost, K.M.; Hati, K.M.; Bandyopadhyay, K.K. Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass Energy.* **2002**, *23*, 337–345.

- Purroy, V.R.; Gallardo, L.I.; Ortega, J.E.; Díaz, R.P.; López, O.S.; Torres, H.G. Energetic and economic efficiency, family welfare and productivity in tropical agroecosystems. *Rev. Agric. Soc. Desarro.* **2016**, *13*, 513–527.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). *Informe Nacional de Monitoreo de la Eficiencia Energética de México*; Organización de las Naciones Unidas: Ciudad de México, México, 2018; p. 195.
- Instituto Para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). *Ahorro y Eficiencia Energética en los Cultivos Energéticos y Agricultura*; IDAE: Madrid, Spain, 2009; p. 35, ISBN 978-84-96680-43-2.
- Chamorro, M.A.; Golik, I.S.; Bezus, R.; Pellegrini, E.A. Energetic analysis of four crop sequences in Buenos Aires Province, Argentina. *Chil. J. Agric. Anim. Sci. (Ex Agro-Ciencia)* **2015**, *32*, 20–31.
- Vences-Pérez, J.; Morales-Almaraz, E.; Martínez-García, C.G.; Albarran-Portillo, B.; García-Martínez, A. Energy efficiency and sustainability. The case of corn cultivation in dual purpose livestock systems in the state of Mexico. In Proceedings of the XLIV Reunion Científica de la Asociación Mexicana Para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A.C. Clima y Ganadería: Productividad Sustentable, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Mexico, 6–8 September 2017, pp. 526–531.

#### **4.4 Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas.**

Franklin B. Martínez-Aguilar<sup>1</sup>, Francisco Guevara-Hernández<sup>2</sup>, Carlos Ernesto Aguilar-Jimenez<sup>2</sup>, Luis Alfredo Rodríguez-Larramendi<sup>3†</sup>, Mariela Beatriz Reyes-Sosa<sup>4</sup>, Manuel Alejandro La O-Arias<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad. Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Carretera Ocozocoautla-Villaflores Km. 84.5 C.P. 30470. Villaflores, Chiapas.

<sup>2</sup> Investigador de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Facultad de Ciencias Agronómicas. Carretera Ocozocoautla - Villaflores Km. 84.5 C.P. 30470. Villaflores, Chiapas.

<sup>3</sup> Investigador de Facultad de Ingeniería, Sede Villa Corzo. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). Carretera Villa Corzo-Monterrey Km 3, Villa Corzo CP 30520, Villa Corzo, Chiapas.

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Agronómicas, CONACYT-UNACH, Villaflores, Chiapas C.P. 30470  
Autor de Correspondencia: [alfredo.rodriguez@unicach.mx](mailto:alfredo.rodriguez@unicach.mx)

**Este artículo fue enviado y aceptado para publicación en la revista Terra Latinoamericana. Vol. 38, Número 4, 2020**

Como parte de la caracterización del agroecosistema maíz se analizó las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con las formas de manejo convencional, agroecológica y mixta que predominan en la zona de estudio, con un enfoque holístico, para determinar que estrategias se pueden implementar para mejorar la calidad del suelo. Las evidencias que se presentan en este estudio indican que las características físicas y químicas son similares bajo las tres formas de manejo, esto se atribuye a una degradación generalizada del suelo por las diferentes prácticas antropogénicas relacionadas con el cultivo de maíz y que son poco sostenibles. Desde el punto de vista biológico el sistema agroecológico mostró mayor abundancia y diversidad de microorganismos y macroorganismos, influenciado por un adecuado contenido de materia orgánica reportada para este sistema.

Este artículo atiende al primer objetivo específico, así como a la primera pregunta de investigación e hipótesis específica.

## **Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas**

### **Physico-chemical and biological characteristics of the soil cultivated with maize in conventional, agroecological and mixed systems in the Frailesca, Chiapas**

Franklin B. Martínez-Aguilar<sup>1</sup>, Francisco Guevara-Hernández<sup>2</sup>, Carlos Ernesto Aguilar-Jimenez<sup>2</sup>, Luis Alfredo Rodríguez-Larramendi<sup>3†</sup>, Mariela Beatriz Reyes-Sosa<sup>4</sup>, Manuel Alejandro La O-Arias<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad. Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Carretera Ocozocoautla-Villaflores Km. 84.5 C.P. 30470. Villaflores, Chiapas.

<sup>2</sup> Investigador de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Facultad de Ciencias Agronómicas. Carretera Ocozocoautla - Villaflores Km. 84.5 C.P. 30470. Villaflores, Chiapas.

<sup>3</sup> Investigador de Facultad de Ingeniería, Sede Villa Corzo. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). Carretera Villa Corzo-Monterrey Km 3, Villa Corzo CP 30520, Villa Corzo, Chiapas.

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Agronómicas, CONACYT-UNACH, Villaflores, Chiapas C.P. 30470

Autor de Correspondencia: [alfredo.rodriguez@unicach.mx](mailto:alfredo.rodriguez@unicach.mx)

#### **RESUMEN**

Con el objetivo de caracterizar el suelo del agroecosistema maíz con los sistemas de producción convencional, agroecológico y mixto, para documentar e identificar estrategias que consideren los aspectos ambientales, sociales y económicos que conlleven a alternativas para la producción sostenible, se estudiaron las propiedades físico-químicas y biológicas de 35 muestras obtenidas en 28 ejidos de la región Frailesca, interpretadas con la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Los resultados indican una acidez generalizada para los tres sistemas con un pH de 5.05, 5.25 y 5.24, la capacidad intercambio catiónico es baja (13.96, 12.54, y 14.95 Cmol (+) kg<sup>-1</sup>) y niveles medios de materia orgánica (3.5%, 2.58%, 3.45%). Así mismo, los macronutrientes, como el Fósforo se encuentra en niveles altos (75.36, 74.78 y 45.05 mg kg<sup>-1</sup>) y el Potasio se encontró en niveles bajos (3.86, 3.12 y 2.66 mg kg<sup>-1</sup>) y los micronutrientes se encuentran en niveles medios como el Hierro (3.24, 2.03 y 2.62 mg kg<sup>-1</sup>) y Boro (1.58, 1.06 y 1.37 mg kg<sup>-1</sup>). Para el caso de la textura del suelo presentan suelos franco-arcillo-arenoso y franco-arenoso. Desde el punto de vista de las características biológicas del suelo, la macrofauna con el sistema agroecológico

reportó mayor diversidad de seres vivos de acuerdo al índice de Shannon y Weaver ( $H' = 1.121$ ), destacan coleópteros, anélidos, himenópteros, isópteros y gasterópodos. En ese mismo sentido, para el caso de microorganismos sobresale en diversidad de microorganismos ( $H' = 1.121$ ) reportando entomopatógenos (*Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*), fijadores de Nitrógeno (*Rhizobium*, *Azotobacter* y *Azospirillum*) y hongos patógenos como *Rizhooctonia*, *Fusarium* y *Alternaría* y el sistema con menor diversidad fue el convencional con  $H' = 0.789$ . Bajo estas condiciones el suelo, es necesario una estrategia que permita aumentar la calidad y las prácticas de agricultura puedan ser sostenibles.

**Palabras clave:** macronutrientes, micronutrientes, macro y microorganismos.

## SUMMARY

In order to characterize the soil of the maize agroecosystem under conventional, agroecological and mixed production systems, to document and identify strategies that consider the environmental, social and economic aspects that lead to alternatives for sustainable production, the physical properties were studied. and biological tests of 35 samples obtained from 28 ejidos in the Frailesca region, interpreted with the Official Mexican Standard NOM-021-SEMARNAT-2000. The results indicate a generalized acidity for the three systems with a pH 5.05, 5.25 and 5.24, the cation exchange capacity is low (13.96, 12.54 and 14.95 Cmol (+)  $\text{kg}^{-1}$ ) and average levels of organic matter (3.5 %, 2.58%, 3.45%). Likewise, macronutrients, such as phosphorus, are found in high levels (75.36, 74.78, and 45.05  $\text{mg kg}^{-1}$ ) and potassium was found in low levels (3.86, 3.12, and 2.66  $\text{mg kg}^{-1}$ ), and micronutrients are found in average levels such as Iron (3.24, 2.03 and 2.62  $\text{mg kg}^{-1}$ ) and Boron (1.58, 1.06 and 1.37  $\text{mg kg}^{-1}$ ). In the case of soil texture, they present loam-clay-sandy and loam-sandy soils. From the point of view of the biological characteristics of the soil, the macro-fauna with the agroecological system reported a greater diversity of living beings according to the Shannon and Weaver index ( $H' = 1,121$ ), highlighting coleopterans, annelids, hymenoptera, isoptera and gastropods. In the same sense, in the case of microorganisms it stands out in a diversity of microorganisms ( $H' = 1,121$ ) reporting entomopathogens (*Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*), Nitrogen fixatives (*Rhizobium*, *Azotobacter* and *Azospirillum*) and pathogenic fungi such as *Rizhooctonia*, *Fusarium* and *Alternaría* and the system with the least diversity was the conventional one with  $H' = 0.789$ . Under these conditions, a strategy is needed to increase soil quality and agricultural practices can be sustainable.

**Index words:** macronutrients, micronutrients, macro and microorganisms.

## INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso fundamental para la producción de alimentos, sin embargo, se estima que a nivel nacional 87% de los suelos agrícolas presentan cierta degradación,

debido a las diferentes prácticas de cultivo que provocan erosión, pérdida de nutrientes, salinidad y compactación (SEMARNAT, 2016). En ese sentido, Chiapas presenta un 79% y la región Frailesca 89% de suelos degradados por acciones naturales y antrópicas (Ortiz, 2019).

En 2017, el 45% de la superficie cultivable en Chiapas se destinó a la producción de maíz, cuyo rendimiento promedio fue de 1.7 t ha<sup>-1</sup> y una producción de 1'147,899 toneladas bajo condiciones de temporal (SIAP, 2018), convirtiéndolo así en el cultivo de mayor importancia en la alimentación en el estado.

La región Frailesca se ha caracterizado por ser una de las mayores productoras de maíz en el estado de Chiapas, con 59,739 hectáreas sembradas en 2018, que produjeron alrededor de 193,381 toneladas. De esa región, los municipios de Villaflores, La Concordia y Villa Corzo fueron los más productivos porque aportaron el mayor volumen de producción (181,241 toneladas) (SIAP, 2018). El rendimiento promedio de la región fue de 3.24 t ha<sup>-1</sup>, superior en 90.5% al promedio estatal, lo cual se debe principalmente al sistema convencional que se caracteriza por el uso de semillas mejoradas y cantidades elevadas de fertilizantes sintéticos, fundamentalmente nitrogenados, lo que implica un incremento en el costo de producción. Esto ha originado problemas de degradación física, química y biológica de suelos (López *et al.*, 2019).

Actualmente, los suelos de la región han perdido su capacidad productiva debido a diferentes fenómenos naturales y antropogénicas como resultantes de la producción de maíz, sin importar la tecnología utilizada para producirlo. Esto ha ocasionado la disminución de los rendimientos, lo que exige cada vez más una mayor demanda de insumos externos para incrementar la producción. Bajo tal situación, el maíz se ha convertido en un cultivo poco rentable para la mayoría de los pequeños productores (Pulleman *et al.*, 2008). A pesar de las evidencias sobre la pérdida de fertilidad del suelo y sus consecuencias, se desconoce la magnitud y la cobertura que podría tener este problema en la región (López *et al.*, 2018).

El objetivo de esta investigación fue caracterizar el suelo del agroecosistema maíz bajo los sistemas de producción convencional, agroecológica y mixta, para documentar e identificar estrategias que consideren los aspectos ambientales, sociales y económicos que conlleven a alternativas para la producción sostenible.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se realizó durante el año 2018 en localidades de la región Frailesca, en parcelas de 35 productores de maíz distribuidos en 28 comunidades (Figura 1). Las

parcelas de la forma de manejo convencional se localizan en zonas de orografía plana, a una altitud de 620 metros sobre el nivel del mar (msnm); mientras que las formas de manejo mixta y agroecológica se ubican entre 747 y 884 msnm respectivamente, en terrenos que fluctúan entre semiplanos a lomeríos, fundamentalmente sobre áreas con pendientes conocidas localmente como laderas.

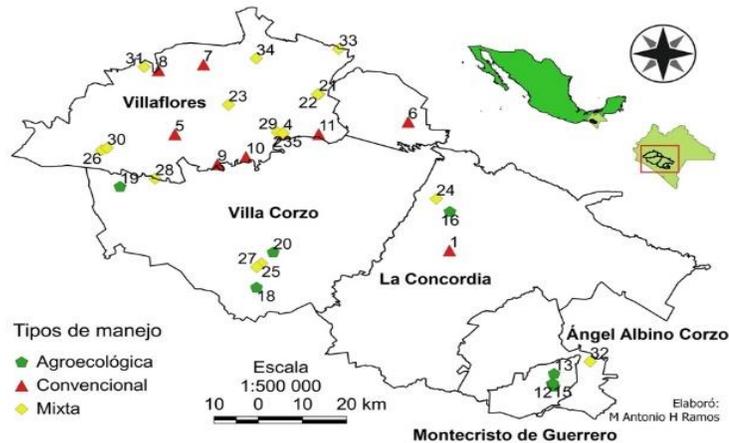


Figura 1. Localización de suelos estudiados bajo tres sistemas de manejo en la región Frailesca, Chiapas, México.

Figure 1. Location of soils studied under three management systems in the Frailesca region, Chiapas, Mexico.

### Los sistemas de manejo del agroecosistema

De acuerdo con el uso e intensidad de la energía invertida en el agroecosistema maíz, en la región Frailesca existen diferentes variantes tecnológicas. Dichas variantes se han identificado como convencional, agroecológica y mixta, las cuales surgieron de una tipificación del uso de maquinaria agrícola, uso y cantidad de fertilizantes químicos, otros agroquímicos, prácticas de conservación de suelo y cantidad de superficie utilizada para la producción de maíz (Martínez *et al.*, 2020), las cuales además son parte de un estudio más profundo sobre la sostenibilidad del agroecosistema maíz. Estas variantes también han sido estudiadas por Guevara *et al.* (2018).

### Caracterización química, física y biológica de los suelos

Para conocer las características físicas, químicas y biológicas de los suelos, se realizó un muestreo en cada parcela, siguiendo el método de cinco de oros a una profundidad de 0-20 cm, de acuerdo a lo recomendado por Mendoza y Espinosa (2017) porque es donde se desarrolla el mayor porcentaje del sistema radical del maíz. A partir de los muestreos, se obtuvieron 25 submuestras por parcela, se mezclaron y se obtuvo una muestra compuesta, las cuales fueron enviadas al laboratorio del Colegio Postgraduados Campus Montecillos para las determinaciones de materia orgánica

(%), densidad aparente (Da), N-total (Kjeldahl), capacidad intercambio catiónico (CIC) (KCl 2N), textura (arcilla, limo y arena), pH ( $\text{CaCO}_2$ ), P (Olsen), K, Ca, Mg ( $\text{NH}_4\text{O ac 1N pH}$ ), Pb, Zn, Fe (DTPA), Cu, Mn, B, Mo (KCl 1N) y Ni. La interpretación de las propiedades de los suelos se realizó de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT (DOF, 2002). Los ácidos húmicos, fúlvicos y carboxílicos, se detectaron a través de la técnica de la resonancia magnética (Mosquera *et al.*, 2010 y Rodríguez *et al.*, 2016).

Para determinar la macrofauna del suelo se utilizó la metodología propuesta por Moreira *et al.* (2012) que consiste en muestrear cinco cuadrantes de  $25\text{ m}^2$  (cinco de oros) en cada parcela. De cada cuadrante se obtuvieron cinco submuestras de  $25 \times 25 \times 10\text{ cm}$ . De cada submuestra se formó una muestra compuesta de 3 kg de suelo por parcela estudiada. Posteriormente se tamizó cada muestra de suelo con mallas de 2, 0.841 y 0.420 mm. Se tomaron 50 g de suelo por malla para verificar con estereoscopio la existencia de seres vivos, los cuales fueron clasificados por Phylum y orden.

Para estimar la diversidad de la macrofauna y microorganismos del suelo se utilizó el índice ( $H'$ ) de Shannon y Weaver (1949). Este índice contabiliza la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza de especies) y la cantidad relativa de individuos de cada especie (abundancia) (De la Rosa y Negrete, 2012).

### **Análisis estadístico**

A todas las variables se les realizó una estadística descriptiva, para conocer las diferencias entre los sistemas de manejo (convencional, agroecológica y mixta), se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 19. Además, se hizo un análisis de correspondencia múltiple entre las variables y las formas de manejo.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Las características físicas y químicas de los suelos estudiados indican poca variabilidad de acuerdo con el coeficiente de variación (Cuadro 1), lo cual denota baja heterogeneidad en el efecto de los sistemas de manejo.

El contenido de Nitrógeno (N) resultó ser bajo en los sistemas convencional y mixto (1.7 % de N) así como en el sistema agroecológico (1.1 % N), según la Norma Oficial Mexicana: Fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis (DOF, 2002). Esto obedece a que el nitrógeno, por su alta movilidad, particularmente en condiciones tropicales, se encuentra hasta en un 80 % en la biomasa de las plantas (Cepeda, 2016). Sin embargo, su disponibilidad depende de otros factores químico-biológicos, como la cantidad de residuo orgánico presente en el suelo y la acción de

los microorganismos en la mineralización y humificación de la biomasa vegetal (Quiroga y Bono, 2012; Ortiz, 2019). Por ello, los productores tienen que suministrarle nitrógeno al maíz en forma de sulfato o nitrato de amonio en los tres sistemas de manejo.

Por otro lado, es preocupante la cantidad de Plomo (Pb) encontrado en el suelo, el cual, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana, por encima de  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  de suelo es considerado peligroso. Los promedios encontrados fueron de 111.36, 84.00 y 90.20  $\text{mg kg}^{-1}$  para los sistemas de manejo convencional, agroecológico y mixto, respectivamente. Esto significa que en el área de estudio los suelos cultivados con maíz bajo el sistema convencional la cantidad de plomo está por encima del límite señalado por la Norma Oficial Mexicana, mientras que para los otros dos sistemas, se encuentran cerca del límite peligroso. Esto puede tener diferentes causas, que van desde la aplicación indiscriminada de agroquímicos como los fungicidas (Martí *et al.*, 2009), herbicidas (UNL, 2010) e insecticidas (García y Rodríguez, 2012), hasta las diferentes actividades antropogénicas que se desarrollan en la periferia o proximidades del agroecosistema maíz, como la pavimentación de carreteras, uso de gasolina y materiales para soldaduras, entre otros (Yucra *et al.*, 2008; García *et al.*, 2012; Montiel e Ibrahim, 2015).

El pH del suelo en los tres sistemas de manejo fue de 5.05, 5.24 y 5.25, que los clasifica como moderadamente ácidos, de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000. Sin embargo, el suelo manejado bajo el sistema agroecológico presentó el pH más bajo (5.05). Esto se relaciona con la cantidad de materia orgánica reportada para esta forma de manejo (3.5%), pues al existir mayor cantidad de humus, contiene grupos reactivos de carboxilo, fenólicos e imídicos que son capaces de ligar iones de hidrógeno. Además, la cantidad de lluvia y la actividad de microorganismos son los principales factores de reacción del suelo, ya que su abundancia produce los principales efectos sobre el pH (Vieira *et al.*, 1998; Ballesta y Quiñones, 2006; Alcántar *et al.*, 2016). Estos resultados son muy similares a los reportados por López *et al.* (2019) quienes caracterizaron los suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas y encontraron pH 5.2, indicando una acidez generalizada entre los suelos estudiados. Sin embargo, el problema de un suelo ácido radica en la posible toxicidad que provocaría al precipitarse el aluminio y el manganeso causando deficiencias de calcio y magnesio (Espinosa y Molina, 1999; Tasistro, 2012).

Cuadro 1. Estadígrafos de tendencia central y de dispersión de las características físicas y químicas de los suelos bajo tres sistemas de manejo.

Table 1. Statistics of central tendency and dispersion of the physical and chemical characteristics of the soils under three management systems.

Variable	Agroecológico		Convencional		Mixto		CV %
	Promedio	E.E	Promedio	E.E.	Promedio	E.E.	
Nitrógeno total (%)	1.10	0.035	1.7	0.032	1.7	0.028	0.074
Plomo mg kg <sup>-1</sup>	84	22.57	111.36	19.46	90.2	15.22	7.54
pH	5.05	0.149	5.25	0.134	5.24	0.115	0.196
M.O (%)	3.5	0.580	2.58	0.52	3.45	0.46	4.46
CIC (Cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	13.96	3.879	12.54	3.509	14.95	3.11	3.12
Da (g t <sup>-1</sup> )	1.35	0.047	1.20	0.042	1.32	0.038	0.12
Arcilla (%)	21.78	3.659	19.62	3.310	25.45	2.934	2.308
Limo (%)	16.27	2.490	21.45	2.252	18.29	1.996	1.723
Arena (%)	61.78	5.339	58.93	4.829	56.26	4.280	2.092
Clase textural	Franco-arcillo-arenoso		Franco-arenoso		Franco-arcillo-arenoso		

E.E= Error estándar CV= Coeficiente de variación

### Materia orgánica

La materia orgánica reportada se encuentra en un nivel medio, resaltando el sistema agroecológico con 3.5%, la mixta 3.45% y convencional 2.58%. Esto obedece a las prácticas de conservación del suelo en el sistema agroecológico, como el policultivo y la no quema de residuos orgánicos. En ese sentido, la incorporación de residuos orgánicos al suelo favorece la reproducción de microorganismos y macroorganismos, los cuales intervienen en la mineralización, lo que ocasiona cambios físicos, químicos y bioquímicos en el suelo y aumenta la disponibilidad de nutrientes a largo plazo (Jordán, 2006 y Vallejo, 2013).

El análisis de correspondencia entre los sistemas de producción y los niveles de humificación de la materia orgánica no mostró diferencia significativa (Figura 2). Sin embargo, se asume que el sistema agroecológico está más vinculado con los ácidos húmicos y el convencional con los ácidos fúlvicos. Los ácidos fúlvicos están presentes cuando en el proceso de humificación de la materia orgánica se remueve el suelo, se oxigena y los microorganismos se activan para descomponer la materia orgánica (Labrador, 2001 y Correa; 2013); por ello, el manejo convencional está relacionado con los ácidos fúlvicos, los cuales son más susceptibles al ataque microbiano y más soluble para las plantas (Primavesi, 1980 y Pool *et al.*, 2019). El manejo agroecológico se relaciona con los ácidos húmicos, el cual es más lento su proceso de degradación y no es soluble para las plantas, porque son polímeros de estructura compleja; es decir, el proceso de humificación en el manejo agroecológico es más lento.

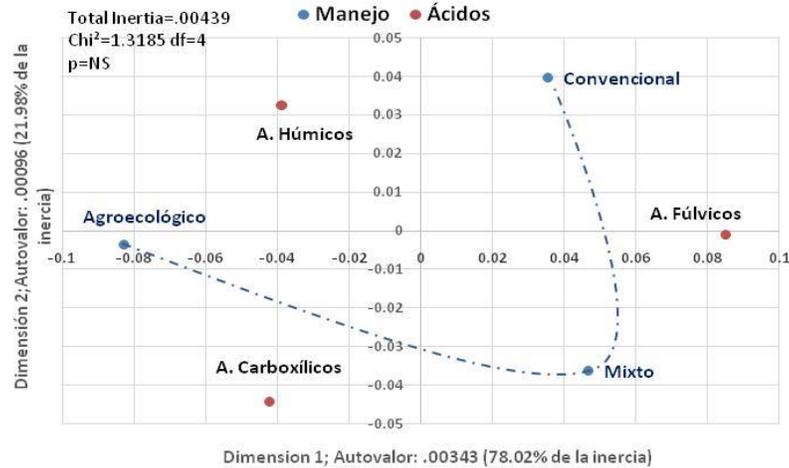
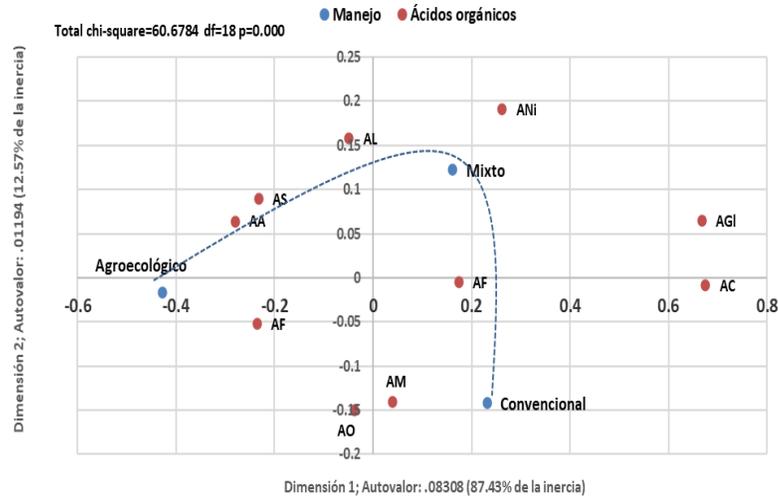


Figura 2. Análisis de correspondencia entre las formas de manejo y los ácidos orgánicos presentes en el suelo.

Figure 2. Correspondence analysis between management forms and organic acids present in the soil.

Se determinó la asociación entre los sistemas de manejo y los diferentes ácidos orgánicos que se producen en el suelo por efectos químicos y biológicos (Figura 3). El sistema agroecológico presenta cuatro ácidos orgánicos (Láctico, Acético, Fórmico y Salicílico), los cuales son generados por las bacterias *Rhizobium*, *Agrobacterium* y *Pseudomonas* y sirven para la movilización del Fósforo (Paredes y Espinosa, 2009). El ácido salicílico (AS) es importante cuando se asocia con el Potasio para formar silicato de Potasio, los cuales dan a la planta mayor resistencia ante las enfermedades, al estrés hídrico y mayor resistencia del tallo al acame (Labrador, 2001).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es baja para los tres sistemas de manejo (convencional 12.54, agroecológico 13.96 y mixto 14.95  $\text{Cmol (+) kg}^{-1}$ ) (DOF, 2002). Esto significa que los suelos en las formas de manejo tienen baja capacidad de intercambiar cationes con la solución del suelo (Primavesi, 1980). La CIC está relacionada con el pH, cantidad de materia orgánica y arcilla, porque entre más carga negativa tenga el suelo, mayor capacidad tendrá para retener e intercambiar cationes (Ballesta y Quiñones, 2006; Estrada *et al.*, 2017). Por ejemplo, los productores aplican cada vez más fertilizantes sintéticos para nutrir las plantas; sin embargo, su uso hace más ineficiente al sistema, ya que se lixivian cuando en la solución del suelo no hay suficientes aniones para retener los cationes, como lo aquí encontrado.



AF: Ácido Fórmico AA: Ácido Acético AS: Ácido Salicílico AL: Ácido Láctico ANi: Ácido Nicótico AGI: Ácido Glutámico AC: Ácido Cítrico AM: Ácido Máfico AO: Ácido Oxálico AF: Ácido Fólico

Figura 3. Análisis de correspondencia entre sistemas de manejo y ácidos carboxílicos encontrados en los suelos de la región Frailesca.

Figure 3. Correspondence analysis between management systems and carboxylic acids found in the soils of the Frailesca region.

La textura de los suelos con respecto al sistema de manejo del agroecosistema indica que el convencional presenta un suelo con textura franco-arenosa, mientras que la mixta y agroecológica, poseen una clase textural franco-arcilloso-arenoso. Estas texturas obedecen a los años de uso de esos suelos y a que en la mayoría de los franco-arenosos, no existe un plan de conservación. Lo anterior se convierte en un problema, porque entre más arenoso sea un suelo menor será su capacidad de retención de agua (Camas *et al.*, 2012). Además, si no realizan prácticas de conservación del suelo para disminuir la degradación, en poco tiempo el suelo perderá su capacidad productiva (Martínez *et al.*, 2019). Sin embargo, estas clases texturales tienen condiciones apropiadas para el crecimiento del cultivo de maíz (López *et al.* 2019).

El Fósforo (P) encontrado en los suelos estudiados es alto (75.36, 74.78 y 45.05 mg kg<sup>-1</sup>) (DOF, 2002) para los tres sistemas de manejo (Figura 4). Estos valores son adecuados para el crecimiento de microorganismos, los cuales ayudan a la solubilización y movilización del P en el suelo, como las micorrizas que lo solubilizan y hacen disponible para las plantas (Rodríguez, 2005). Existe una diferencia de 35 mg kg<sup>-1</sup> entre el sistema de manejo mixto, el convencional y agroecológico, esto se atribuye a la roca madre (apatita) o a la cantidad de rocas fosfatadas que pueden encontrarse entre un lugar y otro (Bohn *et al.*, 1993 y Poo *et al.*, 2000). Sin embargo, Camas *et al.* (2012) aseguran que la erosión del suelo en zonas de laderas es un factor

para la pérdida de minerales como el Fósforo proveniente de la materia orgánica; por ello, es importante la implementación de prácticas de conservación del suelo como curvas a nivel, terrazas, muros de contención y barreras vivas, para disminuir el efecto que tiene el agua al arrastrar el suelo a través de la escorrentía.

Para el Potasio (K) se reportaron niveles medios en los tres sistemas de manejo (convencional 3.86, agroecológico 3.12 y mixto 2.66 mg kg<sup>-1</sup>). Esto indica que el suelo suministra adecuadamente K para el crecimiento y desarrollo de la planta; además, el K es fundamental en el proceso de intercambio catiónico a nivel coloidal, es un activador de enzimas y se ubica en el sexto lugar de importancia en la composición de la materia seca en maíz con 9.2 kg t<sup>-1</sup> (Moron *et al.*, 1996) y para el Calcio (Ca) se obtuvieron valores medios (convencional 3.73, agroecológico 4.91 y mixto 5.58 mg kg<sup>-1</sup>), con estos resultados las plantas no carecen de este nutriente y realizan todo su proceso celular. El Ca aporta 2.3 kg en una tonelada de materia seca de maíz (INPOFOS, 1988 y Alcántar *et al.*, 2016).

Los valores de Magnesio (Mg) registrados en los tres sistemas de manejo (convencional 15.32, agroecológico 9.22 y mixto 13.47 mg kg<sup>-1</sup>) fueron altos (Figura 4). Esto asegura que el reservorio del suelo cuente con suficiente Mg para proporcionarle a la planta de maíz lo necesario para su crecimiento. Por costumbre, los productores no aplican este mineral de manera adicional, para evitar el incremento en los costos de producción. Por ello, la gran mayoría solo aplican fertilizantes nitrogenados, provocando una acidificación del suelo y mayor oxidación de la materia orgánica (Gérman, 2017).

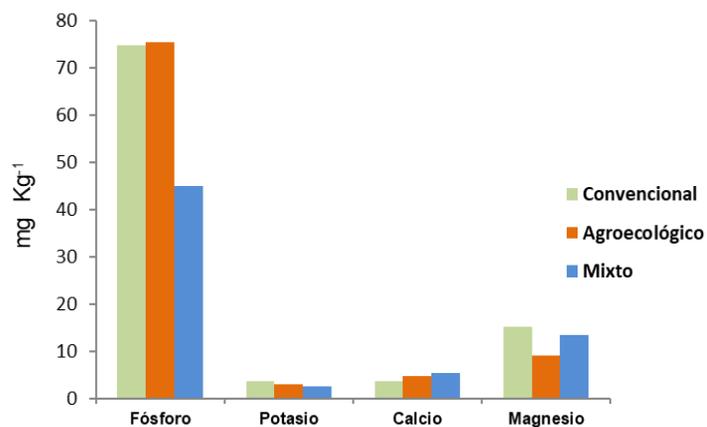


Figura 4. Contenido de macronutrientes primarios y secundarios con tres formas de manejo del suelo.

Figure 4. Content of primary and secondary macronutrients with three forms of soil management.

Los micronutrientes (Zn, Fe, Cu, Mn, B, Mo y Ni) se encuentran en intervalos de adecuado a marginal en los tres sistemas de manejo (Figura 5). Esto indica que el suelo cuenta con estos micronutrientes esenciales para suministrar a las plantas la cantidad que necesiten para su normal crecimiento y desarrollo. Sin embargo, en zonas tropicales, la cantidad de agua que precipita genera infiltración y escurrientías en el suelo, lo que provoca pérdida de dichos elementos por lixiviación y erosión (Prieto *et al.*, 2013 y Barrezueta *et al.*, 2017). Por ello, la presencia de estos elementos está en función de la cantidad y la velocidad de descomposición de la materia orgánica (Silva, 2001).

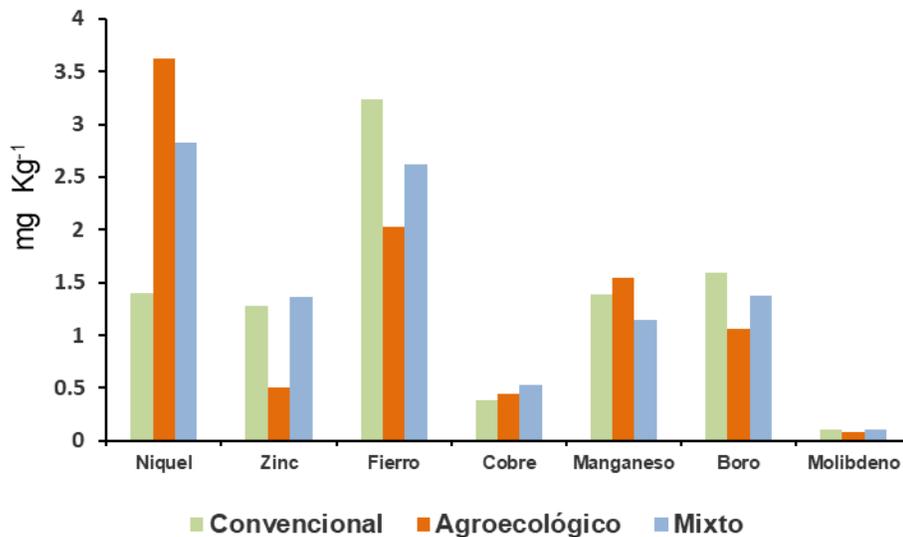


Figura 5. Contenido de micronutrientes en el suelo del agroecosistema maíz y tres sistemas de manejo.

Figure 5. Micronutrient content in the soil of the corn agroecosystem and three a systems of management.

Respecto a diversidad de microorganismos, el índice de Shannon y Weaver ( $H'$ ) indica que el sistema de manejo agroecológico presenta mayor diversidad y abundancia de microorganismos ( $H'=1.254$ ), seguido del mixto ( $H'=0.943$ ) y convencional con  $H'=0.850$  (Figura 6) Los microorganismos encontrados fueron: fijadores de Nitrógeno (*Rhizobium*, *Azotobacter*, y *Azospirillum*), entomopatógenos (*Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*), así como algunos patógenos de las raíces (*Phytium-Rhizotocnia* y *Fusarium* de la raíz) y de los tallos (*Fusarium solani*, *Puccina* y *Alternaria*). La diversidad y abundancia de microorganismos en el sistema agroecológico está relacionada con la cantidad de materia orgánica reportada para esta forma de manejo. Esto obedece a la incorporación de residuos orgánicos a través de la labranza de conservación, policultivos y la no quema, cuyas prácticas favorecen la vida en el suelo (Campbell, 2001; Cleveland y Liptin, 2007 y Rodríguez *et al.*, 2020).

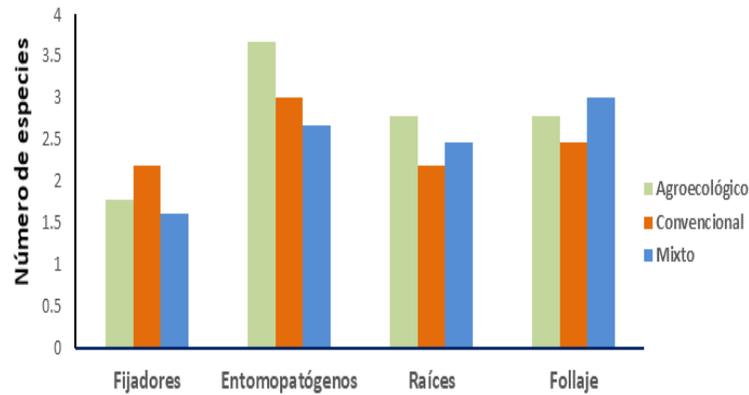


Figura 6. Número de especies de microorganismos benéficos y patógenos presentes en suelos de la Fraileca con diferentes sistemas de manejo.

Figure 6. Number of species of beneficial and pathogenic microorganisms present in Fraileca soils with different management systems.

La macrofauna del suelo en el sistema agroecológico presentó mayor diversidad y abundancia, de acuerdo con el índice de Shannon y Weaver ( $H' = 1.121$ ), destacando coleópteros, anélidos, himenópteros, isópteros y gasterópodos. Dichos macroorganismos son los encargados del proceso de descomposición de los residuos de cosecha y tienen efectos positivos sobre las propiedades del suelo. Estos resultados coinciden con Lal (1988) quién señala que la labranza de conservación y asociación de cultivos, incrementa la presencia de macroorganismos en el suelo, porque contribuyen a retener, humedad y son prácticas que realizan los productores en el sistema agroecológico.

En los sistemas de manejo convencional y mixto se observa baja diversidad de macroorganismos  $H' = 0.789$  y  $H' = 0.924$ , respectivamente; esto podría deberse a la baja cantidad de materia orgánica aplicada en ambos sistemas de manejo y alto uso de agroquímicos, el cual afecta negativamente a los macroorganismos que cumplen con el proceso de humificación (Rendón *et al.*, 2011).

### Características antropogénicas y naturales

La zona de estudio se caracteriza por presentar condiciones antrópicas y naturales que condicionan el manejo del suelo, destacan los años de uso, implementación de policultivos, edad del productor y el tipo de maíz (Cuadro 2). Los productores bajo la forma de manejo convencional utilizan exclusivamente semilla híbrida; la agroecológica, 100 % utilizan maíces locales y la forma mixta utilizan híbridos y/o

maíces locales. En ese tenor, los criterios de los productores para seleccionar una semilla local en esta región, está basada en las condiciones edafoclimáticas, organolépticas y que tengan usos múltiples (Delgado *et al.*, 2018), lo que coincide para las formas no convencionales del cultivo de maíz, no centradas únicamente en los rendimientos agronómicos.

Cuadro 2. Características antropogénicas y naturales del agroecosistema maíz con los sistemas de manejo.

Table 2. Anthropogenic and natural characteristics of the maize agroecosystem with management systems.

Variable	Agroecológico		Convencional		Mixto	
	Promedio	E.E. <sup>+</sup>	Promedio	E.E. <sup>+</sup>	Promedio	E.E. <sup>+</sup>
Edad del productor	55.4	17.9	59.6	15.7	58.5	10.7
Uso del suelo bajo el sistema de manejo (años)	14.6	12.1	16.7	16.3	26	16.0
Superficie de maíz	2.6	2.9	5.7	8.2	2.5	1.5
Tipo de maíz cultivado	Maíz local <sup>1</sup>		Híbrido		Híbrido y/o Local	
Tipo de propiedad	Ejidal		Ejidal		Ejidal/rentada	
Cultivos asociados	Si		No		Si	

+ E.E.= Error Estándar. <sup>1</sup>Tipo de maíz que el productor cultiva por más de 3-5 años sin importar el origen (Guevara *et al.*, 2019).

En el caso del manejo convencional, los suelos muestreados presentan en promedio 16.7 años de uso, mientras que los suelos con manejo agroecológico muestran 14.6 años y el manejo mixto 26 años, lo cual significa que se ha cultivado maíz en monocultivo de manera continua. Por ello, la baja fertilidad obedece a la no implementación de prácticas agroecológicas como labranza de conservación, uso de policultivos incorporación de abonos orgánicos en las formas de manejo convencional y mixta. Estos resultados coinciden con Camas *et al.* (2012) quienes aseguran que en los suelos utilizados de manera constante en monocultivo y sin ninguna práctica de conservación, son proclives a una mayor erosión, escurrimiento y como consecuencia mayor pérdida de minerales. Por ello, la disminución de la materia orgánica de manera sistemática, genera un reciclaje insuficiente de nutrientes en el suelo (Labrador, 2001; Figueroa *et al.*, 2018 y Barrales *et al.*, 2020).

## CONCLUSIONES

Las evidencias que se presentan en este estudio indican que las características físicas y químicas son similares bajo los tres sistemas de manejo (convencional, agroecológico y mixto), esto se atribuye a una degradación generalizada del suelo por las diferentes prácticas antrópicas relacionadas con el cultivo de maíz y que son poco sostenibles.

Desde el punto de vista biológico el sistema agroecológico mostró mayor abundancia y diversidad de microorganismos y macroorganismos, influenciado por un adecuado contenido de materia orgánica reportada para este sistema. Estos resultados indican un mejoramiento paulatino de la vida en el suelo por la incorporación de residuos de cosecha que practican los productores.

### Agradecimientos:

Este artículo forma parte del proyecto de tesis doctoral del primer autor y es titulada “La sustentabilidad del agroecosistema maíz (*Zea mays* L.) en la región Frailesca, Chiapas. México”. Se agradece a la Universidad Autónoma de Chiapas, por el apoyo y la oportunidad de realizar los estudios doctorales, al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por la beca otorgada y a todos los productores que proporcionaron información valiosa para el desarrollo de la presente investigación.

## LITERATURA CITADA

- Alcántar, G. G., Trejo, T. L. I. y Gómez, M. F. 2016. Nutrición de cultivos. 2ª. Edición. Editorial Colegio de Postgraduados. ISBN: 978-607-715-324-5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 440 p.
- Ballesta, R. J. y Quiñones, G. V. 2006. La calidad de suelos como medida para su conservación. Edafología. Vol. 13 (3). Madrid, España.
- Barrales-Brito, E., F. Paz-Pellat, J. D. Etchevers-Barra, C. Hidalgo-Moreno y A. Velázquez-Rodríguez. 2020. Dinámica de carbono en agregados del suelo con diferentes tipos de usos de suelo en el monte Tláloc, Estado de México. Terra Latinoamericana 38: 275-288. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.680>
- Barrezueta, U. S., Paz, G. A., y Chabla C. J. 2017. Determinación de indicadores para calidad de suelos cultivados con Cacao en Provincia de el Oro-Ecuador. Revista Cumbres 3 (1). Machala, Ecuador. Pp. 17-24.
- Bohn, H. L., Mcneal, B. L. y O'Connor, G. A. 1993. Química del suelo. Editorial Limusa. ISBN:968-18-4431-9. México, Distrito Federal. 356 p.
- Camas, G. R., Turrent, F. A., Cortes, F. J. I., Livera, M. M., González, E. A., Villar, S. B., López, M. J., Espinosa, P. N. y Cadena, I. P. 2012. Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas

- de manejo en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 3. Núm. 2. Pp. 231-243.
- Campbell, R. 2001. *Ecología microbiana*. Editorial Limusa. ISBN:968-18-2110-6. México, Distrito Federal. 255 p.
- Cepeda, D. J. M. 2016. *Química de suelos*. Editorial Trilla. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". ISBN: 978-968-24-4032-8. Ciudad de México. 167 p.
- Cleveland, C. C. y Liptin, D. 2007. C:N:P stoichiometry in soil: is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass?. *Journal Biogeochemistry*. 85: 235-252. Doi: 10.1007/s10533-007-9132-0.
- Correa, O. 2013. *Los microorganismos del suelo y su rol indiscutido en la nutrición vegetal*. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Buenos Aires, Argentina. 11p.
- De la Rosa, N.I y Negrete, Y.S. 2012. Distribución espacial de la macrofauna edáfica en bosque mesófilo, bosque secundario y pastizal en la reserva La Cortadura, Coatepec, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 83. Pp. 201-215.
- Delgado-Ruiz, F., Guevara-Hernández, F., Acosta-Roca R. 2018. Criterios campesinos para la selección de maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores y Villa Corzo, Chiapas, México. *Ciencia UAT*. 13(1): 123-134 (Jul- Dic 2018). ISSN electrónico 2007-7521. Conacyt. WOS (Thompson Reuters). DOI: 10.29059/cienciauat.v13i1.985.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2002. Norma oficial mexicana: fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D.F. Pp. 22-35.
- Espinosa, J. y Molina, E. 1999. *La acidez y encalado de suelos*. International Plant Nutrition Institute. Quito, Ecuador. 42 p.
- Estrada, R. H. I., Hidalgo, M. C., Guzmán, P. R., Almaraz, S. J. J., Navarro, G. H. y Etchevers, B.J.D. 2017. Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Revista Agrociencia*. Vol. 51. No. 8. Montecillo, Estado de México. Pp. 813-831.
- Figuroa Jáuregui, M. L., M. R. Martínez Menez, C. A. Ortiz Solorio y D. Fernández Reynoso. 2018. Influencia de los factores formadores en las propiedades de los suelos en la Mixteca, Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana* 36: 287-299. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.259>
- García, Y., Ramírez, W. y Sánchez, S. 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: Una nueva manera de evaluar este recurso. *Revistas Pastos y Forrajes*. Vol. 35. No. 2. Matanzas, Cuba. Pp. 125-138.
- García-Gutiérrez, C., Rodríguez-Meza, G. D. 2012. Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. *Ra Ximhai*, vol. 8, núm. 3b, septiembre-diciembre. Universidad Autónoma Indígena de México pp. 1-10
- Germán, W. M. 2017. *Manual de indicadores de calidad del suelo para las eco regiones de Argentina*. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. 151 p.

- Guevara, H. F., Hernández, R. M. A., Basterrechea, B. J. L., Pinto, R. R., Venegas, V. J. A., Rodríguez, L. L. A. y Cadena, I. P. 2019. Maíces locales; una contextualización de identidad tradicional. *Revista de la Facultad de Ciencias Agraria UNCUYO*. Tomo 51: ISSN: 1853-8665 (en línea). Pp. 369-381.
- Guevara, H. F., Delgado, R. F., Arias, L. M., Rodríguez, L. L., Ortiz, P.R., Delgado, R. J. A., Venegas, V. J. A. y Pinto, R. R. 2018. Análisis comparativo energético-económico del agroecosistema maíz bajo prácticas convencional y de conservación en la región Frailesca, Chiapas. México. *Revista Facultad Agronómica de la Universidad del Zulia (LUZ)*. 35:343-364. Julio-Septiembre. Caracas, Venezuela.
- Instituto del Fósforo y la Potasa (INPOFOS). 1988. *Manual de Fertilidad de los suelos*. Querétaro, Querétaro. 85 p.
- Jordán, L. A. 2006. *Manual de Edafología*. Departamento de cristalografía. Mineralogía y química agrícola de la Universidad de Sevilla. Sevilla, España. 143 p.
- Labrador, M. J. 2001. *La materia orgánica en los agrosistemas*. Editorial Mundi-Prensa. 2ª. Edición. ISBN: 84-8476-045-6. Madrid, España. 267 p.
- Lal, R. 1988. Effects of Macrofauna on soil properties in tropical systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 24(1-3): 101-116.
- López, B. W., R. Reynoso S., B, Villar S., R. Camas G. y J. O. García S. 2019. Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Volumen 10 (4): 897-910. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>.
- López, B. W., R. Reynoso S., B, Villar S., R. Camas G. y J. O. García S. 2018. Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la región Frailesca, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Volumen 9 (1). Texcoco, Estado de México. Pp. 897-910.
- Martínez, F.B., Guevara, F., Aguilar, C.E., Pinto, R., La O, M.A., Rodríguez, L.A. y Aryal, R.D. 2020. Energy and economic efficiency of maize agroecosystem under three management strategies in the Frailesca, Chiapas (Mexico). 10, 81; DOI: 10.3390/agriculture10030081.
- Martí, L., Filippini, M. F., Bermejillo, A., Troilo, S., Salcedo, C. y Valdés, A. 2009. Monitoreo de Cadmio y Plomo en los principales fungicidas cúpricos comercializados en Mendoza, Argentina. *Rev. FCA UNCuyo*. Tomo XLI. No. 2. Pp. 109-116.
- Montiel, K., e Ibrahim, M. 2015. Manejo integrado de suelos para una agricultura resiliente al cambio climático. IICA. Guatemala, Guatemala. 29 p.
- Moron, A., Martino, D. y Sawchik, J. 1996. *Manejo y fertilidad de suelos*. Serie Técnica No. 76. Montevideo, Uruguay. 162 p.
- Moreira, F. M. S., Huising, E. J. y Bignell, D. E. 2012. *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. 360 p.

- Mosquera, C. S.; Martínez, M. J.; Guerrero, J. A.; Hansen, E. W. 2010. Caracterización estructural de la materia orgánica de tres suelos provenientes del Municipio de Aquitania-Boyacá, Colombia. *Revista Colombiana de Química*, vol. 39, núm. 1. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Pp. 47-60.
- Mendoza, R.B. y Espinosa, A. 2017. Guía técnica para muestreo de suelos. Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services. Managua, Nicaragua. 53 p.
- Ortiz, S. C. A. 2019. Edafología. Primera edición. Editorial Trillas. ISBN: 978-607-17-3577-5. Ciudad de México. 399 p.
- Paredes, M. M. y Espinosa, V.D. 2009. Ácidos orgánicos producidos por rizobacterias que solubilizan fosfato: una revisión crítica. *Terra Latinoamericana*. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Estado de México. Pp. 61-70
- Pool, N. L., Trinidad, S.A., Etchevers, B.J., Pérez, M.J. & Martínez, G.A. 2000. Mejoradores de la fertilidad del suelo en la agricultura de laderas de los altos de Chiapas, México. *Agrociencia*. Vol. 34, Núm. 3. Colegio Postgraduados. Texcoco, Estado de México. Pp. 251-259.
- Pool-Novelo, L., V. Kú-Quej, J. Chi-Quej y J. Mendoza-Vega. 2019. Estimación del contenido de carbono orgánico en suelos y vegetación del estado de Campeche. Propuesta metodológica. *Terra Latinoamericana* 37: 317-328. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.461>
- Prieto, M. J., García, P.F., Acevedo, S.O.A. y Méndez, M.M.A. 2013. Indicadores e índices de calidad de suelos (ICS) cebadores del sur del Estado de Hidalgo, México. *Revista Agronomía Mesoamericana*. San José, Costa Rica. Pp. 83-91.
- Primavesi, A. 1980. Manejo ecológico del suelo. Editorial Ateneo. 5ª. Edición. Sao Paulo, Brasil. 428 p.
- Pulleman, M.; Hellin, J.; Flores, V. D. y López, B. W. 2008. Calidad del suelo y rentabilidad de la finca: una situación en la que todos ganan. *Leisa Magazine*. 24(2):6-8.
- Quiroga, A. y Bono, A. 2012. Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Ediciones INTA. La Palma, Argentina. 162 p.
- Rendón, P. S. Artunduaga, L. F., Ramírez, P. R., Quiroz, G. J. A. y Leiva, R. E. I. 2011. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del suelo en cultivos de mora, pasto y aguacate. *Revista Facultad Nacional de Agricultura Medellín* Vol. 64 (1). Medellín, Colombia. Pp. 5793-5802.
- Rodríguez, P. W.; García, R. P. A. y Fajardo, O. A. 2016. Aplicaciones de técnicas espectroscópicas para el análisis de suelos. *Revista Facultad de Ciencias básicas*. ISSN 1900-4699. Volumen 12. Número 2. Pp. 228-251. DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.2030>
- Rodríguez, S. F. 2005. Fertilizantes: Nutrición vegetal. Editorial AGT. Cuarta reimpresión. ISBN:968-463-007-1. México, Distrito Federal. 157 p.

- Rodríguez-Hernández, M. G., M. Á. Gallegos-Robles, L. Rodríguez- Sifuentes, M. Fortis-Hernández, J. G. Luna-Ortega y U. González-Salas. 2020. Cepas nativas de *Bacillus spp.* como una alternativa sostenible en el rendimiento de forraje de maíz. *Terra Latinoamericana* 38: 313-321. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.690>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2016. Informe de la situación del medio ambiente en México: compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave de desempeño ambiental y de crecimiento verde. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México. Pp. 158-188.
- Shannon, C. and N. Wiever. 1949. *The mathematical theory of community.*
- Silva, M.F. 2001. Fertilidad de suelos: Diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. 2ª. Edición. Bogotá, Colombia. 507 p.
- Servicio de Información agroalimentaria y pesquera (SIAP). 2018. Atlas agroalimentario Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). <http://www.siap.gob.mx/>
- Tasitro, A. 2012. La acidez de los suelos. Instituto Internacional de Nutrición Vegetal (IPNI). Notas de conferencia. 108 p.
- Universidad Nacional del Litoral (UNL). 2010. Informe acerca del grado de toxicidad del glifosato. Servicio altamente especializado. Santa Fé, Argentina. 272 p.
- Vallejo, Q. V. E. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano. Experiencias en sistemas silvopastoriles. *Revista Colombia Forestal* Vol. 16 (1). Bogotá, Colombia. 17 p.
- Vieira, J. M., Ochoa, L. B., Sauer, E., Fischler, M. y Marin, X. 1998. Manejo integrado de la fertilidad del suelo en zonas de ladera. Serie Manejo de Tierras. San Salvador. El Salvador. 100 p.
- Yacra, S., Gasco, M., Rubio y Gonzales, G. F. 2008. Exposición ocupacional a Plomo y pesticidas órganofosforados: efecto sobre la salud reproductiva masculina. *Rev. Perú Med. Exp. Salud Pública.* 25 (4). Pp. 394-402.

#### **4.5 Sustentabilidad del agroecosistema maíz (*Zea mays* L.) en la región Frailesca, Chiapas, México**

Franklin B. Martínez A.<sup>1</sup>, Francisco Guevara H.<sup>2\*</sup> Carlos E. Aguilar J.<sup>2</sup>, Manuel A. La O-A.<sup>2</sup>, Luis A. Rodríguez L.<sup>3</sup>, René Pinto R.<sup>2</sup>, José A. Venegas V.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad. Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Carretera Ocozocoautla-Villaflores Km. 84.5 C.P. 30470. Villaflores, Chiapas.

<sup>2</sup>Profesor de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Facultad de Ciencias Agronómicas. Carretera Ocozocoautla-Villaflores Km. 84.5 C.P. 30470 Apdo. Postal 78, Villaflores, Chiapas.

<sup>3</sup>Profesor de la Facultad de Ingeniería, Sede Villa Corzo. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). Carretera Villa Corzo-Monterrey Km 3, Villa Corzo CP 30520, Villa Corzo, Chiapas, México.

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Agronómicas, CONACYT-UNACH, Villaflores, Chiapas C.P. 30470

\*Autor de correspondencia: francisco.guevara@unach.mx

Este artículo aborda la evaluación de la sustentabilidad bajo las dimensiones económicas, ambientales y sociales del agroecosistema maíz, con las formas de manejo convencional, agroecológico y mixto que predominan en la región Frailesca. Esta evaluación fue diseñada de manera holística, para conocer las fortalezas y debilidades del agroecosistema maíz.

El análisis holístico de los 25 indicadores de sustentabilidad evaluados en el agroecosistema maíz bajo las tres formas de manejo, indica que la forma de manejo agroecológica presenta mayores indicadores cercanos al óptimo, en comparación con las otras dos formas de manejo (convencional y mixta). Las fortalezas de esta forma de manejo radican en los policultivos, uso de semillas locales, labranza de conservación y rotación de cultivos, las cuales mejoran las características físicas, químicas y biológicas de los suelos; sin embargo, presenta debilidades como bajo rendimiento, uso de insumos externos y pocos canales de comercialización.

Este artículo aborda el objetivo específico dos y las preguntas de investigación dos y tres, así como la hipótesis específica dos.

## **SUSTENTABILIDAD DEL AGROECOSISTEMA MAÍZ (*Zea mays* L.) EN LA FRAILESCA, CHIAPAS, MÉXICO**

Franklin B. Martínez A.<sup>1</sup>, Francisco Guevara H.<sup>2\*</sup> Carlos E. Aguilar J.<sup>2</sup>, Manuel A. La O-A.<sup>2</sup>, Luis A. Rodríguez L.<sup>3</sup>, René Pinto R.<sup>2</sup>, José A. Venegas V.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad. Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Carretera Ocozocoautla-Villaflores Km. 84.5 C.P. 30470. Villaflores, Chiapas.

<sup>2</sup>Profesor de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Facultad de Ciencias Agronómicas. Carretera Ocozocoautla-Villaflores Km. 84.5 C.P. 30470 Apdo. Postal 78, Villaflores, Chiapas.

<sup>3</sup>Profesor de la Facultad de Ingeniería, Sede Villa Corzo. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). Carretera Villa Corzo-Monterrey Km 3, Villa Corzo CP 30520, Villa Corzo, Chiapas, México.

<sup>4</sup>Facultad de Ciencias Agronómicas, CONACYT-UNACH, Villaflores, Chiapas C.P. 30470

\*Autor de correspondencia: francisco.guevara@unach.mx

### **Resumen**

Con el objetivo de analizar la sustentabilidad del agroecosistema maíz en la región Frailesca, Chiapas, México, a partir del análisis de sus variantes de manejo (agroecológico, convencional y mixto) y de la evaluación de los indicadores de sustentabilidad, el estudio se abordó bajo el enfoque sistémico y mediante un proceso evaluativo fundamentado en el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS). Para ello, se definieron 25 indicadores estratégicos bajo las dimensiones económicas, sociales y ambientales. Para la evaluación de la sustentabilidad, se utilizó un muestreo no probabilístico, a través de sujetos tipo. El tamaño de muestra fue de n=35 (11 productores convencionales, 15 mixtos y 9 agroecológicos). Los resultados indican que la forma de manejo agroecológica es la más sustentable ya que cubrió el 83% de las dimensiones social, económica y ambiental; mientras que el convencional y el mixto abarcaron el 71.69% y 78.69%, respectivamente. Las fortalezas de la forma de manejo agroecológica radican en las prácticas que maneja el productor, entre las cuales destacan los policultivos, el uso de semillas locales, la rotación de cultivos y la labranza de conservación.

**Palabras claves:** Evaluación, MESMIS, Sustentabilidad, Agroecosistema maíz

## 1. Introducción

En México, el maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo con alta diversidad genética por ser centro de origen (Caballero-García *et al.*, 2019). Es un cultivo prehispánico, que ha adquirido diversos usos y posee un arraigo cultural en la culinaria de los mexicanos. El maíz amarillo se utiliza para la alimentación de animales, mientras que el blanco para la alimentación humana, principalmente en tortillas o pozol (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2018). Por su parte, los maíces de otras accesiones se utilizan generalmente para la elaboración de una gastronomía muy diversa, diferenciada por regiones y considerada herencia cultural. México tiene una producción interna de aproximadamente 27.22 millones de toneladas, inferior a la demanda nacional. Este hecho, obliga a importar aproximadamente 15 millones de toneladas anuales. Por esta razón, el maíz constituye actualmente una cuestión de seguridad alimentaria (SAGARPA, 2017; SIAP, 2019).

Chiapas es uno de los diez estados principales productores de maíz en México, aporta 1,225,419.51 toneladas anuales. En este estado, la región Frailesca fue considerada hasta 2016 el “granero de Chiapas” con una superficie cultivada de 61,365.50 ha, y un rendimiento promedio de 3.35 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2019). En el contexto productivo de la región citada existen dos visiones tecnológicas. Por un lado, está la visión convencional basada en el uso de paquetes tecnológicos, y sustentada en un enfoque para la intensificación del agroecosistema, pero dependiente en su totalidad de insumos industriales. Esta situación ha generado problemas cuyos efectos son visibles y socialmente cuestionados. Sobresale el hecho de que muchos productores abandonan la producción de maíz debido a los altos costos de producción que alcanzan los \$ 20,889 pesos mexicanos por hectárea (FIRA, 2019). Un elemento clave en esta problemática es el rendimiento agrícola, afectado por la degradación de los suelos, la acidificación, bajo contenido de materia orgánica y compactación de los suelos (Aguilar *et al.*, 2008; López *et al.*, 2018; López *et al.*, 2019). Por otro lado, existe una visión ambiental por parte de varios actores del desarrollo local, basada en la agroecología y que promueve el uso mínimo de insumos agrícolas, y además reconoce y utiliza tecnologías locales. Sin embargo, hay perspectivas intermedias donde las características de ambas visiones se unen dinámicamente y dan forma a una corriente productiva por demás interesante desde la perspectiva del desarrollo del sector y de la ciencia. Ocaña (2015); Guevara (2017) y Guevara *et al.* (2018) realizaron algunos estudios sobre los actores que promueven el desarrollo agropecuario y los aspectos tecnológicos que sustentan estas formas de manejo del agroecosistema.

Ante esto, la sustentabilidad se concibe como la acción del hombre en relación a su ambiente y busca un equilibrio entre lo ecológico, lo económico y lo social para lograr mantener la producción de un sistema de manera constante en el tiempo y disminuye

el impacto negativo sobre los recursos de la zona (Altieri, 1987; Gliessman, 2002); en ese sentido, el agroecosistema maíz para la zona de estudio representa la mayor actividad económica, pero se desconoce el impacto que ha tenido la aplicación de insumos de síntesis industrial al agroecosistema.

En ese contexto, la sustentabilidad del agroecosistema maíz en la región Frailesca no ha sido suficientemente estudiada. De lo anterior, se desprende la necesidad de investigar la situación actual y dinámica del agroecosistema, así como las implicaciones agroecológicas de algunas prácticas agronómicas modernas implementadas por instituciones públicas y empresas privadas. Para ello, se requiere un enfoque holístico de investigación para comprender desde una perspectiva sistémica e interdisciplinaria, los procesos productivos actuales en la región, como lo plantean Altieri y Toledo (2011).

La presente investigación tiene como objetivo el estudio de la sustentabilidad del agroecosistema maíz en la región Frailesca, a partir del análisis de sus variantes de manejo (agroecológico, convencional y mixto) y de la evaluación de los indicadores de sustentabilidad.

## **2. Materiales y Métodos**

La investigación se realizó en 28 comunidades de la región Frailesca del estado de Chiapas. Esta región se caracteriza por su potencial productivo de maíz, donde se reportan los rendimientos más altos para el estado ( $3.35 \text{ t ha}^{-1}$ ) y una superficie sembrada de 61,365.50 ha (SIAP, 2019). En contraparte, en la Frailesca predomina la agricultura de pequeña escala, donde los productores practican formas diferentes de manejo del agroecosistema de acuerdo con las condiciones edafoclimáticas, los costos de producción, el destino del producto y los cambios en los patrones de cultivo en la región.

Los climas son del tipo cálidos y semicálidos con una temperatura media anual de  $24.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , una precipitación acumulada promedio de 1200 mm anuales y suelos litosoles, luvisoles, cambisoles y vertisoles predominantemente (INEGI, 2012).

La metodología empleada se organizó en dos etapas:

### **1. Tipificación de productores**

Para la tipificación de productores se utilizó una metodología interdisciplinaria sustentada en un enfoque sistémico y para el desarrollo (Chambers, 1993; Hagmann, 1999), a partir de criterios económicos, sociales y ambientales de acuerdo a lo sugerido por Guevara-Hernández (2007) y Rodríguez y Guevara (2009). Se tomó

como base la población reportada por SAGARPA de 11, 888 productores de maíz, con 59,739 hectáreas cultivadas bajo siembra de temporal (SIAP, 2018). A través de la fórmula de Scheaffer *et al.* (2004) se calculó el tamaño de muestra resultando  $n=300$  productores. La información primaria se obtuvo mediante encuestas, entrevistas semiestructuradas y la observación directa. La tipificación de productores se hizo con base al uso de insumos externos, prácticas agroecológicas, tipo de semilla, uso de maquinaria agrícola, destino de la producción y tecnología utilizada. Como resultado de la tipificación de los productores surgieron los tipos de manejo convencional, agroecológico y mixto.

## 2. La evaluación de sustentabilidad

Para la evaluación de sustentabilidad se utilizó un muestreo no probabilístico. La forma de elección de dichos productores fue de acuerdo a sujetos tipo; es decir, productores que tienen las mismas características de cada forma de manejo, con la finalidad de seleccionar sistemas representativos de las tipologías definidas en la etapa anterior. El tamaño de muestra fue por cada forma de manejo (11 convencionales, 9 agroecológicos y 15 mixtos). Esto representó un total de 35 casos distribuidos en 28 comunidades de la región (Figura 1).

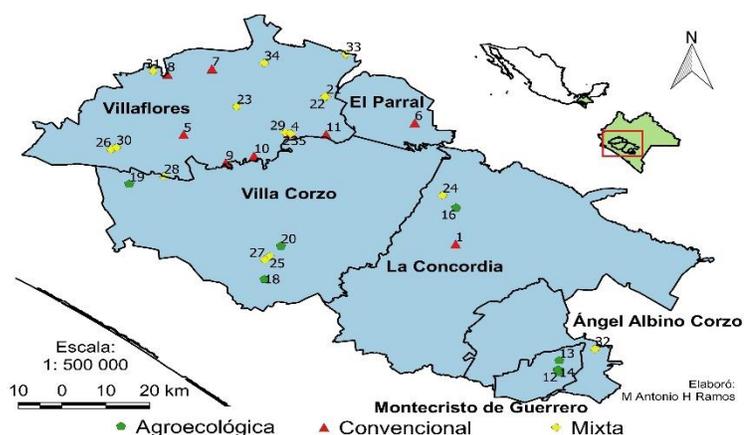


Figura 1. Ubicación de los sitios de evaluación de la sustentabilidad por tipo de manejo del agroecosistema maíz, región Frailesca, Chiapas, México.

Para la evaluación de la sustentabilidad se empleó el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) propuesto por Masera *et al.* (2000). En dicho marco se definen atributos, puntos críticos, criterios de diagnóstico e indicadores estratégicos para el agroecosistema a evaluar. En la presente evaluación se realizó un análisis comparativo trasversal que consiste en comparar simultáneamente uno o más sistemas de manejo para analizar los casos identificados por cada forma de manejo.

El MESMIS propone la evaluación de la sustentabilidad en seis pasos: 1) determinación del objeto, 2) determinación de puntos críticos, 3) selección de indicadores, 4) edición y monitoreo (obtención de datos en campo), 5) presentación e integración de resultados y 6) conclusiones y recomendaciones. Además, se consideran cinco atributos que sirven como ejes transversales para el análisis: a) productividad, b) estabilidad, confiabilidad y resiliencia, c) adaptabilidad, d) equidad y e) autodependencia.

### 2.3 El objeto de estudio

Se determinaron como objeto de estudio a las formas de manejo (convencional, agroecológico y mixto) del agroecosistema (Tabla 1), las cuales, de acuerdo con la caracterización realizada por Ocaña (2015); Guevara *et al.* (2018a) y Martínez *et al.* (2020), son las formas más representativas de producción de maíz en dicha región.

Tabla 1. Características tecnológicas y socioeconómicas de las formas de manejo del agroecosistema maíz de la región Frailesca, Chiapas.

Determinante del agroecosistema	Convencional	Agroecológico	Mixto
<b>Tecnología y manejo</b>			
Preparación del suelo	Uso de maquinaria agrícola + herbicida previo a la siembra del maíz	No remueve el suelo + herbicida previo a la siembra del maíz	Uso de maquinaria agrícola + herbicida previo a la siembra del maíz
Tipo de semilla empleada	Híbridas	Locales <sup>1</sup>	Híbridas
Insumos sintéticos	± Uso intensivo de herbicidas ± Mayor cantidad de fertilizantes sintéticos ± Uso de insecticidas y fungicidas	✓ Menor uso de herbicidas ✓ Menor cantidad de fertilizantes sintéticos ✓ Uso de derivados orgánicos para el control de insectos, enfermedades y en menor medida sintéticos	– Uso intensivo de herbicidas – Mayor cantidad de fertilizantes sintéticos – Uso de insecticidas y fungicidas
Prácticas culturales	± Uso de maquinaria agrícola, para la preparación del suelo	✓ Practica la asociación de cultivos ✓ Uso de prácticas de conservación	– Uso de prácticas de conservación del suelo – Uso de maquinaria para la

±	Practica la asociación de cultivos de manera aislada	la de ✓	del suelo y no remueve el suelo. Uso de aperos manuales para el manejo de arvenses y siembra	preparación del suelo – Practica la asociación de cultivos de manera aislada
			✓	Uso de las fases lunares para la siembra y cosecha
			✓	Realiza rotación de cultivos

### Socioeconómicas

Tipo de mano de obra	Pagada y familiar	Familiar, pagada y por invitación <sup>2</sup>	Familiar y pagada
Destino de la producción	Venta y consumo familiar	Consumo familiar, animales y venta	Venta y consumo familiar
Beneficios financieros	Medio	Alto	Alto
Superficie de cultivo	5.70 hectáreas	2.66 hectáreas	2.53 hectáreas
Tenencia de la tierra	Ejidal y privada	Ejidal	Ejidal y rentada
Cantidad de proteína producida kg/ha	Alta	Baja	Media
Área forestal protegida	Bajo	Alto	Medio

<sup>1</sup>Tipo de maíz que el productor cultiva por más de 3-5 años (consecutivos), sin importar el origen (Guevara *et al.*, 2019)

<sup>2</sup>Es un tipo de trabajo colaborativo entre los productores de una comunidad para realizar la actividad de desgrane del maíz, sin cobrar el jornal. Fuente: Martínez *et al.* (2020).

## 2.4 Puntos críticos del agroecosistema maíz con sus formas de manejo

Para identificar los puntos críticos se realizaron entrevistas con informantes clave (comisariados ejidales, consejos de vigilancia, productores con mayor rendimiento y productores con más años de cultivar maíz) donde se aplicaron los principios de la razón comunicativa, el razonamiento lógico, inductivo y deductivo.

## 2.5 Criterios de diagnóstico e indicadores

Los puntos críticos fueron relacionados con indicadores mediante el reconocimiento de las dimensiones de la sustentabilidad, según se muestra en la Tabla 2. Se identificaron 25 indicadores (12 ambientales, nueve sociales y cuatro económicos). Para la recolección de datos de cada indicador social y económico se usaron

encuestas, entrevistas semiestructuradas y recorridos en las parcelas de los productores. Con relación a los indicadores ambientales se muestreó el suelo de las parcelas de los productores seleccionados, a los cuales se les determinó: pH, densidad aparente (Da), materia orgánica (M.O.), Capacidad intercambio catiónico (CIC), textura, Nitrógeno (N). Los resultados de estos indicadores del suelo se interpretaron de acuerdo con la Norma oficial mexicana (SEMARNAT, 2001). La macrofauna del suelo se estudió de acuerdo con la metodología propuesta por Moreira *et al.* (2012).

El mayor número de indicadores en la dimensión ambiental, se debe a la cantidad de puntos críticos del agroecosistema maíz con sus tres formas de manejo, en dicha dimensión; garantizando a partir de una buena selección de indicadores de acuerdo con Astier *et al.*, (2008) y Tonelli (2019), la multidimensionalidad y dinámica de la evaluación.

Tabla 2. Atributos, criterios de diagnóstico e indicadores para la evaluación del agroecosistema maíz.

Atributo o propiedad del agroecosistema	Criterio de diagnóstico	Indicador estratégico	Método de evaluación	Área de evaluación
Productividad	Eficiencia	1. Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	CIMMYT, 2012	A
		2. Eficiencia energética (EP/EC)	Funes (2009)	A
		3. Relación beneficio/costo	CIMMYT (1988)	E
		4. Rendimiento energético (kg MJ <sup>-1</sup> )	Funes (2009)	A
		5. Energía producida (MJ ha <sup>-1</sup> )	Funes (2009)	A
		6. Intensidad energética (MJ kg <sup>-1</sup> )	Funes (2009)	A
		7. Personas alimentadas en base a maíz (ha/año)	Funes (2009)	S
		8. Personas alimentadas en base a proteína (ha/año)	Funes (2009)	S
Estabilidad, resiliencia y confiabilidad	Calidad del suelo	9. Macrofauna del suelo	Moreira <i>et al.</i> 2012	A
		10. Microorganismos del suelo	Técnica de resonancia magnética	A
		11. pH	CaCO <sub>2</sub>	A
		12. Capacidad intercambio catiónico (CIC)	Método de Acetato de Amonio 1N (pH 7)	A
		13. Nitrógeno total (%)	Kjeldahl	A
		14. Materia orgánica (%)	Walkley-Black	A
		15. Densidad aparente	Método de la parafina	A
	Diversidad en el tiempo y espacio	16. Policultivos	Entrevistas y encuestas	A
		17. Rotación de cultivos		E
	Calidad de vida	18. Productores sanos	Entrevistas y encuestas	S
Capacidad de cambio e innovación		19. Innovación a tecnologías	Entrevistas y encuestas	S
	Adaptabilidad	20. Evolución del número de productores por sistema	Entrevistas y encuestas	S

Equidad	Distribución de costos y beneficios	21. Canales de comercialización del maíz	Entrevistas y encuestas	S
Autodependencia (Autogestión)	Autosuficiencia y control	22. Tipo de propiedad	Entrevistas y encuestas	S
		23. Grado de dependencia de insumos externos	Entrevistas y encuestas	S
		24. Nivel de autofinanciamiento	Entrevistas y encuestas	S
		25. Origen de la semilla	Entrevistas y encuestas	E

(A) Ambiental (E) Económico (S) Social

## 2.6 Análisis estadísticos

Para analizar la diferenciación de las formas de manejo, se utilizó el análisis de varianza para modelos lineales, para las variables eficiencia energética, eficiencia económica y características físicas, químicas y biológicas del suelo y así como la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan. Estos análisis se realizaron con el paquete estadístico Statística versión 9.0.

## 3. Resultados y Discusión

### 3.1 Características de las formas de manejo del agroecosistema

La producción de maíz, en la región Frailesca se lleva a cabo en un ciclo anual, con carácter estacional, en que se aprovecha la época de precipitación pluvial comprendida de los meses de junio a diciembre. Las técnicas de laboreo son tradicionales, con el uso de herramientas típicas como la coa, el azadón, machete y equipos sencillos como aspersoras para la aplicación de productos químicos. Para la cosecha, se emplean máquinas desgranadoras de maíz (propias o rentadas). La conceptualización sistémica del agroecosistema maíz (Figura 2) permite identificar, preliminarmente, las variables con mayor potencial de discriminación para establecer tipologías. En este caso, el balance entre insumos industriales y biológicos, la tecnología y el destino de la producción, se representan como los elementos de conceptualización y tipificación de mayor importancia.

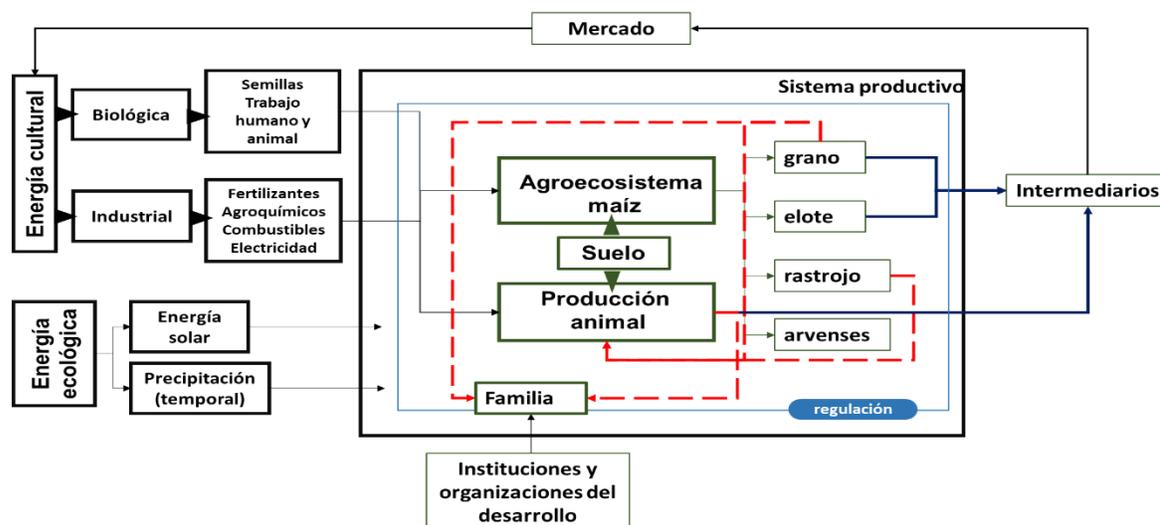


Figura 2. Conceptualización del agroecosistema maíz en la región Frailesca, Chiapas. Fuente: Elaboración propia.

Los insumos de origen industrial utilizados, difieren en las tres formas de manejo desde el tratamiento de la semilla hasta el desarrollo del cultivo (Tabla 3). El manejo convencional se caracteriza por el uso intensivo de herbicidas ( $11.5 \text{ L ha}^{-1}$ ), insecticidas ( $8 \text{ L ha}^{-1}$ ), fertilizantes ( $800 \text{ kg de Sulfato de Amonio ha}^{-1}$ ) y fungicidas ( $3 \text{ kg ha}^{-1}$ ). En el caso del manejo agroecológico se utiliza herbicidas ( $6.5 \text{ L ha}^{-1}$ ),  $2 \text{ L ha}^{-1}$  de insecticida para el tratamiento de semilla antes de la siembra y para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith) durante el ciclo. Además, utiliza  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de fertilizante Sulfato de Amonio y  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de fungicida. Para el manejo mixto se emplean herbicidas ( $10 \text{ L ha}^{-1}$ ), insecticidas ( $5 \text{ L ha}^{-1}$ ), mecanización del suelo y semillas mejoradas y/o locales.

Tabla 3. Insumos utilizados en un ciclo de cultivo/hectárea para cada forma de manejo del agroecosistema maíz.

Insumo	Unidad de medida	Cantidad de insumos utilizados $\text{ha}^{-1}$						Sig
		Convencional		Agroecológico		Mixto		
		Media	E.E	Media	E.E	Media	E.E	
Semilla (maíz)	Kg	20	0.000	20	0.000	20	0.000	ns
Diesel	L	10	1.612	8	2.646	10	1.648	ns
Gasolina	L	15 a	3.435	10 b	1.936	15 a	2.392	0.000
Sulfato de amonio	Kg	800 a	63.246	600 b	75.00	800 a	70.711	0.000
Glifosato	L	3.5 a	0.5477	1.5 b	0.500	3 a	0.6814	0.000
Paraquat	L	5 a	0.922	1 c	0.500	3 b	0.756	0.000
2-4 D amina	L	3 a	0.447	1 c	0.000	2 b	0.655	0.000
Paraquat + Diuron	L	0 c	0.000	3 a	0.500	2 b	0.655	0.000
Paratión metílico	L	2 b	0.742	1 c	0.433	3 a	0.463	0.000

Fosforo de aluminio	Pastilla	3 a	0.632	0 c	0.000	2 b	0.756	0.000
Cipermetrina	L	3 a	0.775	1 c	0.707	2 b	0.756	0.000
Mancozeb	kg	3 a	0.632	1 c	0.707	2 b	0.756	0.000

Letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadística ( $P \leq 0.05$ ) al aplicar la prueba de Duncan (1955). E.E: Error estándar; Sig: Significativo, N.S: No significativo

Las prácticas consistentes con el manejo agroecológico requieren de mayor empleo de fuerza de trabajo. Por esta razón, la cantidad de horas trabajadas es inverso al de insumos industriales. Se requieren 110, 117 y 137 jornales de 6 horas para las formas de manejo convencional, mixta y agroecológica, respectivamente (Martínez *et al.*, 2020). Esta carga de fuerza de trabajo, en la forma de manejo agroecológico, se produce por prácticas adicionales para la conservación y mejoramiento del suelo que en el manejo convencional se sustituye con el uso intensivo de agroquímicos y maquinaria (Delgado *et al.*, 2018; Guevara *et al.*, 2018a).

### 3.2 Puntos críticos del agroecosistema con las formas de manejo

Los puntos críticos del agroecosistema fueron: altos costos de insumos, factores climáticos adversos (exceso de lluvia y/o sequía intraestival), alta dependencia de insumos externos, bajos rendimientos de grano y rastrojo y bajo precio del grano en el mercado local (Tabla 4). La dependencia de insumos externos hace al agroecosistema inestable económicamente por los altos costos de los insumos y ambientalmente por la contaminación de los recursos naturales esto coincide con Hernández *et al.* (2018) y Pineda *et al.* (2019) quienes aseguran que existe un impacto socioeconómico negativo a largo plazo y se comprometen los recursos naturales por la acción antropogénica.

Los factores climáticos en la zona se han presentado más frecuentemente, debido a la variabilidad climática y el cambio climático, los efectos se muestran en las sequías intraestivales, mala distribución de las lluvias y olas de calor. Estos efectos tienen resultados negativos en el rendimiento y biomasa de la planta de maíz (Álvarez, 2015; Guajardo *et al.*, 2018). Los efectos fomentan la búsqueda de estrategias productivas diferenciadas, lo que conduce al cambio de uso del suelo, el abandono del cultivo y el bajo o nulo relevo intergeneracional. Con respecto al rendimiento de rastrojo, Ocaña (2015) reporta bajos rendimientos para la zona de estudio que fluctúan entre los 250 a 500 kg ha<sup>-1</sup>, los cuales se utilizan para alimentación animal y/o incorporación al suelo.

Tabla 4. Atributos y puntos críticos del agroecosistema maíz con las formas de manejo.

Atributos	Puntos críticos		
	Convencional	Agroecológico	Mixto
1. Productividad	Poco grano para autoconsumo (227 kg), media relación beneficio/costo (1.56 pesos)	Bajo rendimiento de grano por unidad de superficie (3411 kg ha <sup>-1</sup> )	Poca disponibilidad de forraje en algunas épocas del año (300 kg ha <sup>-1</sup> )
2. Estabilidad, resiliencia y confiabilidad	Monocultivo Degradación del suelo (15-30 t ha <sup>-1</sup> de suelo)	Poco interés de nuevas generaciones (migración campo-ciudad)	Poco interés de nuevas generaciones (migración campo-ciudad)
3. Adaptabilidad	Balance negativo de nutrientes Efectos climatológicos negativos (exceso de agua y/o sequía intraestival) Altos costos de producción (11485 pesos ha <sup>-1</sup> ) Semillas poco adaptadas por ser semillas comerciales.	Efectos climatológicos negativos (exceso de agua y/o sequía intraestival) Precios bajos del maíz (4100 pesos/tonelada)	Precios bajos del maíz Altos costos de insumos Efectos climatológicos negativos (exceso de agua y/o sequía intraestival)
4. Equidad	Precios bajos del maíz (4100 pesos/tonelada) Baja rentabilidad (1.56 pesos)	Poco abasto de granos (3411 t ha <sup>-1</sup> )	Acaparamiento de intermediarios (40-60% de maíz)
5. Autodependencia o autogestión	Acaparamiento de intermediarios (30-50% de maíz) Alta dependencia de insumos de síntesis industrial (73%) Ausencia organizativa	Acaparamiento de intermediarios (50-80% de maíz) Carencia de otras fuentes de ingreso (20-45%). Ausencia organizativa	Abandono del cultivo (10%) Ausencia organizativa

### 3.3 Los indicadores ambientales

Las tres formas de manejo muestran valores de eficiencia energética superiores a uno, porque son sistemas abiertos. Esto indica que producen más energía que el total de energía cultural consumida. En este contexto, el manejo agroecológico mostró una

eficiencia inferior a las formas convencional y mixta (Figura 3), esto se debe a que las prácticas agroecológicas llevan tiempo para mostrar sus bondades y sobre todo para restaurar los ciclos ecológicos del agroecosistema. Por otro lado, estos resultados contrastan con la lógica de que las prácticas agroecológicas mejoran la eficiencia energética por estimular los ciclos de regeneración del agroecosistema, y de esta forma reducir la necesidad de insumos industriales. Sin embargo, en la región Frailesca, predomina el monocultivo desde hace más de 50 años lo que reduce el tiempo de transición de las formas de manejo y sobre todo la velocidad de respuesta del sistema. En ese sentido, la diversificación resulta ser un factor clave para la mejora de la eficiencia energética. En Cuba, Funes *et al.* (2008) y Funes *et al.* (2011) concluyeron que los sistemas agroecológicos más diversificados fueron más eficientes en términos de la eficiencia energética, aunque menos productivos en etapas iniciales o intermedias del agroecosistema maíz.

Por otra parte, en este caso, la eficiencia energética del manejo convencional (6.04) y del manejo mixto (6.47) es muy cercana a las reportadas por Alemán y Brito (2003) para el maíz en monocultivo, con métodos convencionales de manejo; ya que ambas formas de manejo (convencional y mixto) incrementaron el uso de insumos energéticos, lo que implicó un mayor aprovechamiento de dichos insumos para hacer al sistema más eficiente, lo que coincide con lo reportado por Sánchez y Romero (2017). Sin embargo, cuando las tres formas de manejo estudiadas se comparan con los resultados de Pimentel (1980) quien encontró que la eficiencia energética promedio del cultivo de maíz es de 11.84 MJ producidos por cada MJ invertido, se comprueba que, en la región Frailesca, las tres formas de manejo muestran una eficiencia energética baja. Esto podría obedecer a la condición de suelos degradados, generada por las altas dosis, formas y momentos de aplicación de fertilizantes, especialmente los nitrogenados y herbicidas. Por ello, el estudio de la eficiencia energética de los agroecosistemas con sus formas de manejo resulta ser una herramienta metodológica para la caracterización de estos, de acuerdo con lo reportado por Purroy *et al.* (2016) y Stark *et al.* (2016).

Respecto a la intensidad energética de las tres formas de manejo, se obtuvo que para producir un kilogramo de maíz se requieren 2.87, 3.61, y 2.63 MJ para los manejos convencional, agroecológico y mixto, respectivamente. Esto indica la dependencia del agroecosistema en su mayoría de energía fósil y de agroquímicos en las tres formas de manejo. Es decir, en las tres formas de manejo se utiliza energía sintética para la producción, lo que ha ocasionado problemas al suelo debido a la presión permanente, degradación constante, y no utilización de prácticas para contrarrestar los efectos de largo plazo que ya se tienen y que coinciden con lo reportado por Gliessman *et al.* (2007) y Castelán *et al.* (2014).

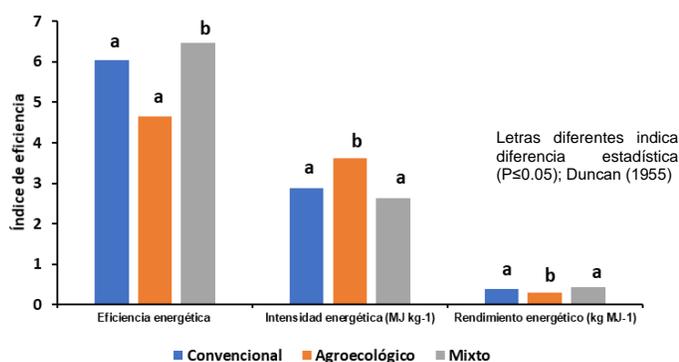


Figura 3. Eficiencia energética del agroecosistema maíz con tres formas de manejo.

Respecto a los rendimientos de grano, la forma de manejo convencional tiene mayor capacidad de alimentar personas por unidad de superficie, tanto con maíz como en proteína, con respecto a las formas agroecológica y mixta (Tabla 5). Schiere *et al.* (2002) demostraron que la cantidad de personas que pueden alimentarse en una hectárea/año, donde se siembra un solo cultivo (maíz) es de 10.4 respecto a las fuentes energéticas y de 5.2, a las fuentes proteicas. Este indicador es muy importante a tomar en cuenta puesto que la demanda social creciente de alimentos impone la necesidad de obtener rendimientos suficientes para desacelerar la expansión de la frontera agrícola. Por ello, en términos energéticos los policultivos con buenos rendimientos producen altas cantidades de energía para alimentar una cantidad mayor de personas por unidad de superficie (Valdés *et al.*, 2009). No obstante, el valorar y ponderar esa cualidad *versus* la alta demanda de insumos y las implicaciones ambientales que esta forma de manejo representa para los recursos naturales como el suelo, es una cuestión de relevancia local, regional, estatal y nacional.

Tabla 5. Capacidad para alimentar personas desde el punto de vista energético y proteico del agroecosistema maíz con las formas de manejo.

	Convencional		Agroecológico		Mixto		Sig
	Media	S.E	Media	S.E	Media	S.E	
Factores productivos							
Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	4727.2 a	368.75	3411.1 b	407.66	4033.3 a	315.77	0.069
Energía producida (MJ ha <sup>-1</sup> )	73760.18	6044.17	54982.67	6682.08	65387.8	5175.92	ns
Número de personas alimentadas ha <sup>1</sup> año							
Maíz	24.06 a	1.88	17.36 c	2.08	20.53 b	1.36	0.069
Fuentes proteicas	23.40	2.09	18.21	2.31	21.82	1.79	ns

Letras diferentes en la misma línea existe diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.05$ ); Duncan (1955); S.E: Error Estándar; NS: No significativo; Sig: significancia

Respecto a la calidad del suelo, la presencia de Nitrógeno total es muy pobre en las parcelas de las tres formas de manejo (1.2-1.7%) (Tabla 6). Esto sucede en suelos tropicales debido a su alta movilidad, ya que hasta el 80% del Nitrógeno se encuentra en la biomasa de las plantas (USDA, 1999). Los valores reportados del pH indican que los suelos son moderadamente ácidos (5.05-5.25), asimismo, la materia orgánica presenta valores medios; este resalta en el manejo agroecológico con 3.5%, lo que conlleva a diferentes reacciones químicas y biológicas en la descomposición y mineralización por parte de los microorganismos de acuerdo con Jordán (2006) y Silva (2001). La Capacidad Intercambio Catiónico es baja en los suelos con las tres formas de manejo (12.54 a 14.95  $\text{Cmol}_{(+)}$   $\text{kg}^{-1}$ ), esto significa que la arcilla tiene poca capacidad de intercambiar cationes para que la planta pueda absorberlos (Primavesi, 1980) y podría obedecer a que los suelos de la región se encuentran muy degradados, han perdido las partículas más pequeñas (arcilla) debido a la erosión.

Tabla 6. Propiedades físicas y químicas del suelo del agroecosistema maíz bajo tres formas de manejo.

Variable	Agroecológico		Convencional		Mixto		CV %
	Promedio	E.E	Promedio	E.E.	Promedio	E.E	
Nitrógeno total (%)	1.7	0.035	1.2	0.032	1.7	0.028	0.274
pH	5.05	0.149	5.25	0.134	5.24	0.115	0.196
M.O (%)	3.5	0.580	2.58	0.52	3.45	0.46	4.46
CIC ( $\text{Cmol}_{(+)}$ $\text{kg}^{-1}$ )	13.96	3.879	12.54	3.509	14.95	3.11	3.12
Da ( $\text{g t}^{-1}$ )	1.35	0.047	1.20	0.042	1.32	0.038	0.12
Arcilla (%)	21.78	3.659	19.62	3.310	25.45	2.934	2.308
Limo (%)	16.27	2.490	21.45	2.252	18.29	1.996	1.723
Arena (%)	61.78	5.339	58.93	4.829	56.26	4.280	2.092
Clase textural	Franco-arcillo-arenoso		Franco-arenoso		Franco-arcillo-arenoso		

E.E= Error estándar CV= Coeficiente de variación

La textura muestra que los suelos bajo el manejo convencional son franco-arenosos, mientras que los suelos con el agroecológico y mixto son franco-arcillo-arenoso. Estas texturas podrían obedecer a los años de uso de los suelos bajo formas de manejo intensivas; y a que la gran mayoría de los productores no tienen un plan de manejo y conservación de estos, fundamentalmente contra la erosión hídrica. Estudios realizados en la zona han encontrado texturas similares (López *et al.*, 2019). Lo anterior representa un problema porque entre más arenoso es un suelo menor capacidad de retención de agua tiene (INPOFOS, 1988; Camas *et al.*, 2012). No obstante, estas texturas encontradas presentan condiciones aptas para el crecimiento de las plantas de maíz. Sin embargo, es necesario el establecimiento de un plan de conservación y mejoramiento, a través de prácticas agroecológicas (Altieri y Nicholls, 2007; Aguilar *et al.*, 2017).

En la Figura 4 se muestran los resultados de la diversidad de microorganismos reportados para los suelos que sustentan el agroecosistema maíz de la región Frailesca. En ese sentido, el índice de Shannon y Weaver ( $H'$ ) indica que la forma de manejo agroecológica presenta una mayor diversidad y abundancia de microorganismos ( $H'=1.254$ ), seguido del manejo mixto ( $H'=0.943$ ) y el manejo convencional con  $H'=0.850$ . Los microorganismos encontrados fueron: fijadores de Nitrógeno (*Rhizobium*, *Azotobacter*, y *Azospirillum*), entomopatógenos (*Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*), así como algunos patógenos de las raíces (*Phytium-Rhizotocnia* y *Fusarium* de la raíz) y de los tallos como (*Fusarium solani*, *Puccinia* y *Alternaria*). La diversidad y abundancia de microorganismos en el manejo agroecológico está relacionada con la cantidad de materia orgánica reportada para esta forma de manejo. Esto obedece a la incorporación de residuos orgánicos a través de la labranza de conservación, policultivos y la no quema, cuyas prácticas favorecen la vida en el suelo (Campbell, 2001; Cleveland y Liptin, 2007).

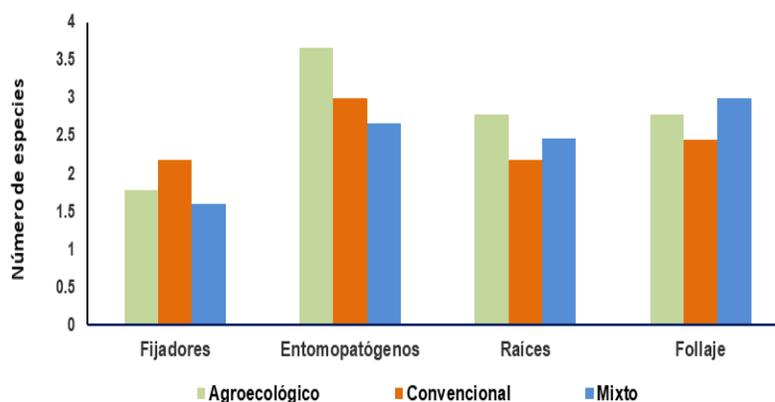


Figura 4. Número de especies de microorganismos benéficos y patógenos presentes en suelos de la Fraileca, Chiapas.

Para la macrofauna del suelo, en el manejo agroecológico se encontró la mayor diversidad y abundancia de acuerdo con el índice de Shannon y Weaver ( $H'=1.121$ ), destacando coleópteros, anélidos, himenópteros, isópteros y gasterópodos. Estos macroorganismos son los encargados del proceso de descomposición de los residuos de cosecha y tienen efectos positivos sobre las propiedades del suelo. En las formas de manejo convencional y mixto se observa una baja diversidad de macroorganismos  $H'=0.789$  y  $H'=0.924$  respectivamente, esto podría deberse a la baja cantidad de materia orgánica reportada para ambas formas de manejo y alta aplicación de agroquímicos, el cual afecta negativamente a los macroorganismos que cumplen con el proceso de humificación (Correa, 2013).

### 3.4 Los indicadores económicos

El costo total de la producción en la forma de manejo convencional (\$11,485 pesos ha<sup>-1</sup>) es superior al resto debido fundamentalmente a los precios altos que se pagan por la semilla para la siembra, los fertilizantes utilizados, la preparación del suelo y la mano de obra para las labores (Tabla 7). El costo de mano de obra y de los fertilizantes representan entre el 27% y 21.8% del costo total de producción. Además, en las tres formas de manejo se dedica el 54.72, 48.80 y 51.83 % del costo total de producción para la compra de agroquímicos respectivamente, lo cual, además de las implicaciones negativas al ambiente, indican que son prácticas poco sostenibles, aun cuando económicamente se justifiquen a partir del margen de ganancia que se obtenga (Guevara *et al.* 2018a).

Tabla 7. Costos económicos y porcentaje en el agroecosistema maíz bajo tres formas de manejo.

Concepto	Convencional			Agroecológico			Mixto		
	Media	E.E	%	Media	E.E	%	Media	E.E	%
Mano de obra pagada	3100 a	100.00	27	3400 a	234.52	39.6	3300 a	189.92	30
Maquinaria	1300 a	116.19	11.4	600 a	487.34	7	800 a	696.93	7.3
Semilla	2100 a	150.00	18.3	400 b	14.14	4.6	2000 a	383.59	18.2
Combustible	150 a	31.62	1.3	150 a	35.35	1.7	200 a	62.67	1.9
Fertilizante	2500 a	180.27	21.8	1600 b	96.82	18.7	2335 a	108.01	21.2
Herbicidas	850 a	177.48	7.4	1000 a	150.00	11.7	847.7 a	45.38	7.7
Insecticida	1100 a	59.16	9.5	916.8 a	90.51	10.8	1020 a	145.35	9.2
Fungicida	385 a	23.34	3.3	500 a	292.61	5.9	500 a	70.71	4.5
Costo total	11485 a	422.42	100	8565.8 b	467.00	100	11002.7 a	361.74	100

Letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadística ( $P \leq 0.05$ ); Duncan (1955); E.E: Error estándar

La forma de manejo convencional es la que mayores ingresos económicos aporta, a partir de los rendimientos del grano, el porcentaje de la producción que se comercializa y de los precios de venta de este (Tabla 8). Esto se debe no solo al mayor rendimiento agrícola obtenido, sino también a que el productor comercializa el 95.1% de la cosecha. En la forma agroecológica, se comercializa el 93.8% y además se obtuvo un bajo rendimiento por unidad de superficie. La forma de manejo mixta se coloca como la segunda forma en obtener mayores ingresos económicos, debido al rendimiento del grano y a que comercializa el 99.1%, dejando muy poco maíz para autoconsumo y para sus animales.

Tabla 8. Rendimientos e ingresos económicos en las tres formas de manejo del agroecosistema maíz.

Forma de manejo	Rendimiento (kg/ha)	Cantidad Comercializada (kg)	Precio/kg (pesos)	Ingreso/ha (pesos)	Relación beneficio/costo
Convencional	4,727.2	4500	4.00	18000	1.56
Agroecológica	3,411.1	3200	4.20	13440	1.56
Mixta	4,033.3	4000	4.10	16400	1.49

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Miranda *et al.* (2008), quienes afirman que la producción de maíz en monocultivo tiene mejores rendimientos tanto económicos como energéticos. En este caso, las formas de manejo convencional y agroecológica presentan una mejor relación beneficio/costo de 1.56 pesos, mientras que la forma mixta 1.49 pesos. Esto significa que las dos primeras formas de manejo son las más factibles, con un margen de ganancia de 0.56 pesos por cada peso invertido. En este sentido, existen varios factores que influyen en la factibilidad económica, entre ellos, los altos costos por insumos y mano de obra que requieren las tres formas de manejo *versus* precios del producto al momento de la comercialización. Por otra parte, los bajos rendimientos del cultivo también limitan la eficiencia energética y económica.

### 3.5 Los indicadores sociales

El 100 % de los productores de maíz de la región Frailesca son mayores de 55 años, lo que actualmente representa una disminución en la fuerza física para las labores del agroecosistema que requieran de esfuerzos físicos mayores. No obstante, los productores cuentan con mayor experiencia para las actividades del agroecosistema. Cabe señalar que en la región no existe un relevo generacional con los hijos, ya que ellos prefieren estudiar alguna profesión, buscar otras alternativas de trabajo, emigrar a las ciudades y/o rentar sus parcelas (Martínez *et al.*, 2019).

Por otro lado, el fenómeno de abandono de las actividades agrícolas, podría estar asociado a la disminución permanente de la fertilidad del suelo por los años de uso, altos costos de producción y bajos precios de venta del producto. En ese sentido, la forma de manejo convencional presenta en promedio 16.7 años de uso ininterrumpido, el agroecológico 14.6 años y el mixto 26 años. (Tabla 9).

Tabla 9. Características naturales y antrópicas del agroecosistema maíz bajo tres formas de manejo.

Variable	Agroecológico		Convencional		Mixto	
	Promedio	E.E. <sup>+</sup>	Promedio	E.E. <sup>+</sup>	Promedio	E.E. <sup>+</sup>
Edad del productor	55.4	17.9	59.6	15.7	58.5	10.7
Uso del suelo (años)	14.6	12.1	16.7	16.3	26	16.0
Superficie de maíz	2.6	2.9	5.7	8.2	2.5	1.5
Altitud de la parcela (msnm)	884.3	252.4	620.6	99.5	758.8	234.8
Tipo de semilla cultivada	Local		Híbrida		Híbrida y/o Local	
Tipo de propiedad	Ejidal		Ejidal		Ejidal/rentada	
Cultivos asociados	Si		No		Si	
Orografía del terreno	Ladera		Semiplano		Semiplano	

+ E.E.= Error Estándar

En la región Frailesca predomina el minifundio y se ve de manifiesto en las tres formas de manejo, donde sobresale la tenencia de la tierra cultivada con maíz en las áreas con manejo convencional con 5.7 ha, seguido del manejo agroecológico con 2.6 ha y el mixto con 2.5 ha. Las condiciones del tamaño de parcelas en la región, limitan al productor para obtener mayores cosechas, obligando esta situación a una agricultura mayormente de subsistencia. Por ello, la utilización de maíces locales en el manejo agroecológico y mixto, disminuye el costo de producción. Además, la tenencia de la tierra que predomina es ejidal (88%) y 12% propiedad privada. Estos resultados coinciden con lo reportado por Delgado *et al.* (2018) y Guevara *et al.* (2018).

La comercialización del maíz en la región se caracteriza por el intermediarismo. En la forma de manejo agroecológica, las parcelas se encuentran más alejadas de los centros de acopio. Estas, además se ubican a 884 metros sobre el nivel del mar (msnm), con una orografía de laderas, lo que limita la movilidad del producto. Para el manejo mixto, las parcelas se encuentran a 747 msnm en promedio, con terrenos semiplanos. En la forma de manejo convencional, las parcelas se ubican en lugares planos, mecanizables, y a una altitud de 620 msnm. Es por ello que las comunidades más alejadas de los centros de acopio, el intermediario realiza la función de acaparar la producción de las comunidades y llevarlo a la zona de comercialización, comprando el producto más barato, como lo confirma SAGARPA (2017).

### 3.6 Integración de resultados: la sustentabilidad

Los resultados de la dimensión social, económica y ambiental de la sustentabilidad para las tres formas de manejo evaluadas son diferentes de acuerdo con los 25 indicadores evaluados.

### Manejo convencional

El manejo convencional basa su fortaleza en la productividad del agroecosistema; sin embargo, muestra debilidades en varios aspectos por el uso intensivo de agroquímicos. Resulta cuestionable desde la perspectiva ambiental y social a mediano y largo plazo debido a las consecuencias a las que ya se enfrenta el productor actualmente. En ese sentido, Altieri y Toledo (2011) mencionan que un agroecosistema debe tener la menor dependencia de productos de síntesis industrial, para lograr una disminución en la contaminación de los recursos naturales y mantener la sustentabilidad.

La intensidad en el empleo de agroquímicos en la forma convencional de producción de maíz tiene efectos sobre la biodiversidad funcional del agroecosistema. Los resultados presentan una baja diversidad de especies de microorganismos y macrofauna del suelo, de acuerdo con los índices de Shannon y Weaver ( $H' = 0.789$  y  $H' = 0.850$ , respectivamente). En ese sentido, Primavesi (1980) señala que los herbicidas sistémicos afectan la vida del suelo, y a su vez, el proceso de mineralización de los residuos orgánicos para convertirlos a materia orgánica. Además este tipo de manejo presenta un bajo contenido de materia orgánica (2.58%) y una baja capacidad de intercambio catiónico ( $12.54 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ ).

En su mayoría, los suelos bajo el manejo convencional muestran una degradación moderada, y presentan una textura franco-arenosa y con condiciones limitadas para la producción de maíz según lo reportado por López *et al.* (2018). Estos mismos autores señalan que la región Frailesca ha sufrido una degradación del suelo de manera sistemática debido a cuestiones antropogénicas y naturales, por lo que actualmente los fertilizantes sintéticos son indispensables para este sistema. Aunado a lo anterior, los productores no realizan rotación de cultivos, ni asociaciones. Sin embargo, el agroecosistema maíz con manejo convencional aún muestra buena eficiencia económica y energética, por sus rendimientos agronómicos, pero con costos de producción elevados. Un agroecosistema dependiente de insumos externos modifica sus costos de producción de manera cíclica, por la fluctuación de los precios de los productos que se utilizan para la agricultura (Altieri, 1987). Así mismo, FIRA (2017) asegura que para tener una agricultura rentable se deben utilizar productos de menor costo y con resultados positivos que beneficien a los productores con mayores ganancias; sin embargo, una agricultura consumista es poco sustentable por el daño que ocasiona al ambiente y a los recursos naturales.

Desde el punto de vista social, los productores bajo el manejo convencional presentan mayores posibilidades de comercializar directamente su producción sin la intervención de intermediarios, porque las unidades de producción cuentan con mejores vías de

comunicación y además están más cercanas a los puntos de venta. Delgado (2017) asegura que este grupo de productores son más estables económicamente y tienen los medios para trasladar su producto.

En otro sentido, se encontró que el 45% de los productores padece a largo plazo, alguna enfermedad ocasionada por el uso de agroquímicos. Esta situación es recurrente entre los productores por la baja cultura de protección ante la aplicación de los productos químicos, esto genera inestabilidad familiar y económica por los diversos medicamentos que deben comprarse.

#### Manejo agroecológico

El agroecosistema bajo el manejo agroecológico presenta una eficiencia energética (4.65) menor a las otras dos formas de manejo, lo que coincide de acuerdo con los rendimientos obtenidos. Los suelos bajo esta forma de manejo presentan mejores características físicas, químicas y biológicas y concuerda con lo reportado por Gliessman (2002) quien indica que las diversas prácticas agroecológicas implementadas para la conservación del suelo, suelen reflejarse a mediano y largo plazo, porque la recuperación del suelo es un proceso lento. Estas condiciones se observan en una mayor diversidad de la macrofauna del suelo ( $H'=1.121$ ) y un número mayor de especies de microorganismos ( $H'=1.254$ ) de acuerdo con Andersen *et al.* (2013) estos dos indicadores son fundamentales para conocer la vida en el suelo, y entre mayor cantidad de biodiversidad los procesos biológicos son más naturales.

Desde el punto de vista económico, esta forma de manejo presenta una relación beneficio-costos buena (1.56 pesos). Esto se debe al costo de producción bajo (\$8,565.80 pesos  $ha^{-1}$ ), sin importar que el rendimiento sea menor comparado con las otras dos formas de manejo. Además, al realizar cultivos asociados, los agricultores obtienen productos adicionales o ganancias extra para el consumo familiar y/o la venta. Hernández *et al.* (2013) encontraron en la zona de amortiguamiento de la reserva "La Sepultura" productores que realizan asociaciones de cultivo para obtener mayores ingresos económicos y de manera adicional beneficiar al ambiente, al disminuir el uso de productos químicos para el control de insectos plaga. Igualmente, al utilizarse semillas locales como en este caso, se reduce el costo de producción y coincide con Ocaña (2015) quien indica que los productores que utilizan semillas locales y/o criollas reducen entre un 15 a 18% el costo total de producción al no comprar semillas híbridas, las cuales además están menos adaptadas a la zona.

Para disminuir el costo de producción en cuanto a mano de obra, en las comunidades se practica la mano de obra por invitación, es decir, que de manera rotativa los productores se apoyan entre ellos para la cosecha y desgrane de una manera

colaborativa. Esta actividad representa un elemento social que da forma a la integración comunitaria con miras a disminuir costos, pero a la vez de cohesión social a través del colectivismo (Guevara-Hernández, 2007).

Desde el punto de vista social, los productores agroecológicos se encuentran en una posición geográfica marginada y más lejana a los puntos de venta del grano, donde el intermediarismo es utilizado como mecanismo de venta de la porción de cosecha que requiere ser vendida. Esto es porque las parcelas se encuentran principalmente en zonas de amortiguamiento de reservas naturales protegidas y la orografía es del tipo relieve montañoso. Además, los agricultores no cuentan con otras fuentes de ingreso diferentes a las del sector agrícola, salvo los apoyos gubernamentales (subsidios) que les brinda como apoyo a la producción. Esta problemática es generalizada bajo las condiciones biofísicas descritas del estado de Chiapas y en otras partes del país como lo reportan Aguilar *et al.* (2011) y Sánchez *et al.* (2014).

#### Manejo mixto

El agroecosistema maíz manejado bajo la forma mixta presenta una mayor eficiencia energética (6.47) con relación a las otras formas de manejo (convencional y agroecológica). Debido al rendimiento y a un bajo gasto energético, estos resultados difieren a los encontrados por Guevara *et al.* (2018a) quienes reportan eficiencias energéticas mayores bajo el mismo sistema de manejo. Por otro lado, los efectos de la implementación de algunas prácticas agroecológicas para conservar el suelo, se reflejan en la materia orgánica (3.45%) de los suelos, los cuales además presentan una buena diversidad en la macrofauna del suelo ( $H'=0.924$ ) e igualmente para los microorganismos del suelo ( $H'=0.943$ ). Las prácticas de conservación del suelo reflejan una mayor micro y macrobiota, al contar con alimento, humedad y una diversidad de residuos orgánicos (Cleveland y Liptin, 2007; Correa, 2013). Sin embargo, la densidad aparente muestra suelos compactos, esto podría deberse al uso excesivo de maquinaria agrícola o pesada para el tipo de suelos agrícolas de la región. Además, este grupo de productores pastorea ganado en la parcela después de la cosecha y/o vende los residuos de la cosecha. Esto contribuye a la erosión, al dejar el suelo sin cobertura y al pisoteo de los animales. En ese sentido, de acuerdo con Navarro y Navarro (2003) una mayor protección del suelo favorece a las características físicas, químicas y biológicas como lo manifiesta además que estas cualidades deben ser constantes.

Desde el punto de vista económico, la forma de manejo mixto, presenta una buena relación beneficio-costos (1.49 pesos) de acuerdo con CIMMYT (1988). Esto significa que el costo de producción no fue muy alto (\$11,002.7 pesos  $ha^{-1}$ ) debido al tipo de manejo y se buscaron formas alternativas de producción. Esta condición está asociada

al rendimiento y el precio de venta del grano. En ese sentido, Pavón y Arguello (2016) aseguran que la mano de obra, fertilizantes e insumos agrícolas elevan el costo de producción; sin embargo, bajo esta forma de manejo, algunos productores realizan prácticas de asociación de cultivos, lo que genera otra fuente de ingreso, mayor biodiversidad en el agroecosistema y mayor capacidad de resiliencia por los beneficios adicionales al sistema, especialmente al suelo (Kumaraswamy, 2002; Castillo *et al.*, 2012; Olsson y Ness, 2019).

En cuanto a la dimensión social, los productores bajo la forma de manejo mixto buscan innovar (68 % de productores) con productos nuevos, prácticas para el cultivo y nuevos genotipos. Asimismo, en cuanto a la tenencia de la tierra el 65% son ejidales y ha utilizado la parcela durante 26 años y el resto (35%) renta las parcelas para producir maíz y otros cultivos. Esto ocasiona un problema de estabilidad y seguridad familiar, ya que son productores migrantes de otras comunidades y no cuentan con tierra propia o el derecho sobre el uso de estas. Por ello, los productores buscan otras fuentes de empleo para compensar el gasto familiar. En este sentido, Sarandon y Flores (2009) indican que los productores más desprotegidos son los que se encuentran lejos de las zonas urbanas y emigran de sus comunidades para emplearse como jornaleros de manera temporal. Este tipo de productores, de acuerdo a la presente investigación, se encuentran en una etapa de transición entre el convencional y agroecológico, porque incluyen prácticas de ambas formas de manejo, diferenciándose por la inclusión de ganado vacuno al agroecosistema. Esta situación genera un agroecosistema híbrido maíz-ganadería cada vez más dependiente de formas de manejo alternativas para aprovechar el potencial de ambos sistemas (Arellano *et al.*, 2016).

El análisis holístico de los 25 indicadores de sustentabilidad evaluados en el agroecosistema maíz bajo las tres formas de manejo, indica que la forma de manejo agroecológica presenta mayores indicadores cercanos al óptimo, en comparación con las otras dos formas de manejo (convencional y mixta) y al considerar la Figura 5 área de sustentabilidad a todo el espacio dentro del perímetro que delimita los valores calculados, resultó que el área del polígono de la forma de manejo agroecológica es más sustentable desde la perspectiva integral tridimensional (social, económico y ambiental), porque sus indicadores abarcan 83% del total del perímetro. Las fortalezas de esta forma de manejo radican en los policultivos, uso de semillas locales, labranza de conservación y rotación de cultivos, las cuales mejoran las características físicas, químicas y biológicas de los suelos; sin embargo, presenta debilidades como bajo rendimiento, baja dependencia de insumos externos y pocos canales de comercialización.

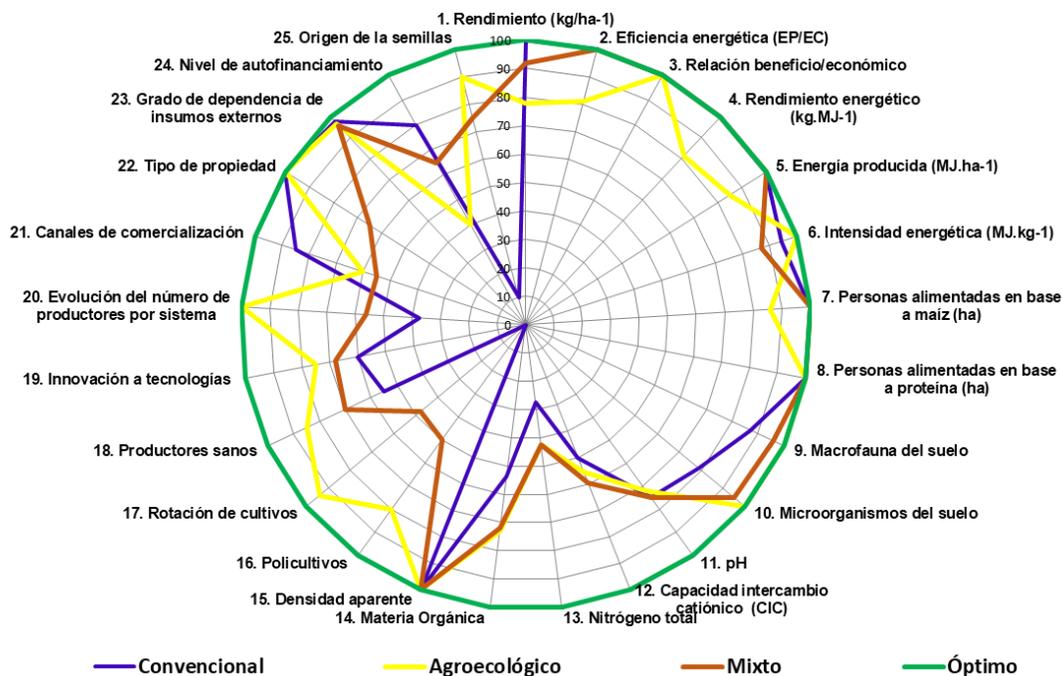


Figura 5. Evaluación integral de la sustentabilidad del agroecosistema maíz con tres formas de manejo en la región Frailesca, Chiapas.

La forma de manejo convencional cubrió el 71.69% del perímetro del área de sustentabilidad, su fortaleza radica en la eficiencia energética y la cantidad de personas que puede alimentar por su alto rendimiento. Las debilidades de esta forma de manejo son: alta dependencia de insumos industriales, nulo uso de prácticas para mejorar y conservar el suelo, los cuales se reflejan en la degradación de las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Por ello, tienen menos posibilidades que el manejo sea sustentable.

La forma de manejo mixta cubrió el 78.69% del total del área de sustentabilidad, sus fortalezas radican en mayor eficiencia energética, uso de prácticas agroecológicas las cuales mejoran las características físicas, químicas y biológicas del suelo y los productores innovan en el agroecosistema; sin embargo, presenta alta dependencia de insumos industriales. Esta forma de manejo, si disminuye el uso de agroquímicos e incrementa las prácticas de mejoramiento y conservación del suelo, tiene posibilidades para mejorar los indicadores de sustentabilidad.

#### 4. Conclusiones

En la región Frailesca, la forma de manejo convencional del agroecosistema maíz, presenta los mayores rendimientos de grano, mayor eficiencia energética y es

económicamente rentable. Sin embargo, esta forma de manejo es la más dependiente de los insumos externos, al utilizar la mayor cantidad de agroquímicos, además de que solo practica el monocultivo y no conserva suelo. Como consecuencia, presenta una mayor degradación de las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

La forma de manejo agroecológico presenta mejores características físicas, químicas y biológicas del suelo, atribuido a las prácticas de rotación y asociación de cultivos que realizan los productores, lo que se refleja además en otros beneficios como en una mayor diversidad de la macrofauna y de microorganismos. Desde el punto de vista económico esta forma de manejo presenta buena relación beneficio-costos porque tiene bajo costo de producción, aunque su rendimiento haya sido menor. Independientemente de la producción total, los beneficios en el largo plazo de esta forma de manejo radican en el mejoramiento, conservación de los recursos naturales y disminución de la aplicación de productos industriales, beneficiando a los productores y consumidores. Por ello, esta forma de manejo resultó más sustentable que las otras formas de manejo.

La mayor eficiencia energética del agroecosistema se observó en la forma de manejo mixto, debido a un buen rendimiento y un menor gasto energético, comparado con las otras dos formas de manejo (convencional y agroecológico). Esta forma de manejo combina prácticas de conservación del suelo y utiliza productos de síntesis industrial; es decir, se encuentra en una etapa de transición hacia el manejo agroecológico o viceversa.

#### **Agradecimientos:**

Este artículo forma parte del proyecto de tesis doctoral del primer autor y es titulada "La sustentabilidad del agroecosistema maíz (*Zea mays* L.) en la región Frailesca, Chiapas. México. Se agradece a la Universidad Autónoma de Chiapas, por el apoyo y la oportunidad de realizar los estudios doctorales, al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por la beca otorgada y a todos los productores que proporcionaron información valiosa para el desarrollo de la presente investigación.

#### **5. Literatura citada**

- Caballero-García, M. A., L. Córdova-Téllez y A. de J. López- Herrera. 2019. Validación empírica de la teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz en México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 42 (4): 357 – 366.
- Vázquez-Carrillo M. G., R. E. Preciado-Ortíz, D. Santiago-Ramos, N. Palacios-Rojas, A. Terrón I. y A. Hernández-Calette. 2018. Estabilidad del rendimiento y calidad de

- grano y tortilla de nuevos híbridos de maíz con valor agregado para el subtrópico de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41: 509-518
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2017. Maíz grano blanco y Amarillo Mexicano. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Ciudad de México. 36 p.
- Servicio de Información agroalimentaria y pesquera (SIAP). 2019. Atlas agroalimentario Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Ciudad de México. <http://www.siap.gob.mx/>
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2019. Sistema de costos agrícolas. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y sectorial. <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/TemasUsuario.jsp>.
- Aguilar, J. C. E; Tolon B. A.; J. Galdámez, A. Gutiérrez M.; S. Mendoza P.; F.B. Martínez A. 2008. La producción sostenible de maíz en la selva de Chiapas. II Seminario de Cooperación y desarrollo en espacio rurales Iberoamericanos. Sostenibilidad e indicadores. Universidad de Almería, España. Pp. 45-60.
- López, B. W., R. Reynoso S., B, Villar S., R. Camas G. y J. O. García S. 2018. Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la región Frailesca, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Volumen 9 (1). Texcoco, Estado de México. Pp. 897-910.
- López, B. W., R. Reynoso S., B, Villar S., R. Camas G. y J. O. García S. 2019. Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Volumen 10 (4): 897-910. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>.
- Ocaña, J. M. J. 2015. Estudio socioeconómico y ambiental del uso y manejo del rastrojo en los sistemas maíz-ganadería en la región Frailesca, Chiapas. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 110 p.
- Guevara-Hernández, F. 2017. Propuesta metodológica para el estudio de actores y estrategias de intervención tecnológica en Chiapas, México. *Cultivos Tropicales*. 38(2): 103-112.
- Guevara-Hernández F., Rodríguez-Larramendi L.A., Díaz-José J., Pinto-Ruiz R., Ley de Coss A. y Raj-Aryal D. 2018. Actores y estrategias de la innovación tecnológica en la producción de maíz en Chiapas, México. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 35(2): 223-247.
- Altieri, M. A. 1987. *The scientific basis of alternative agriculture*. Boulder, CO, USA: Westview press, Inc.
- Gliessman, S. R. 2002. Agroecología procesos ecológicos en la agricultura sostenible. CATIE. Turrialba, Costa Rica. Pp. 3-16.

- Altieri, M. A y Toledo, V. M. 2011. The agroecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants. *The Journal of Peasant Studies* 38: 587-612. DOI: 10.1080/03066150.2011.582947.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2012. Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 2011 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI. México, D.F. 155 p.
- Chambers, R. (1993): *Challenging the professions. Frontiers for rural development*. IT Publications, London.
- Hagmann, J. 1999. *Learning together for change: facilitating innovation in natural resource management through learning process approaches in rural livelihoods in Zimbabwe*. MargrafVerlag. Weirkershein, Germany. 310 p.
- Guevara-Hernández, F. (2007): “¿Y después qué?: Action-research and ethnography on governance, actors and development in Southern Mexico”. Technology and Agrarian Development Group. Department of Social Sciences. Wageningen University and Research Centre. Wageningen, The Netherlands. 223 p.
- Rodríguez, L. L. y F. Guevara H. 2009. *Innovación y Desarrollo Rural: Reflexiones y experiencias desde el contexto cubano*. 1a edición (Versión Digital). ACSUR-Las Segovias/IIA Jorge Dimitrov. Madrid, España. 174 p.
- Scheaffer, R., W., Mendenhall, L. Otto. 2004. *Elementos de muestreos*, grupo Editorial Iberoamericana, México. p. 15.
- Masera, O.; Astier, M. y López-Ridaura, S. 2000. *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMI*. Mundi-Prensa México. 103 p.
- Guevara, H. F., Delgado, R.F., Arias, L. M., Rodríguez, L. L., Ortiz, P.R., Delgado, R.J.A., Venegas, V.J.A. y Pinto, R. R. 2018a. Comparative energy-economic analysis of the maize agroecosystem under conventional and conservation practices in the Frailesca región, Chiapas. Mexico. *Revista Facultad Agronómica de la Universidad del Zulia (LUZ)*. 35:343-364.
- Martínez, F.B.; Guevara, F.; Aguilar, C.E.; Pinto, R.; La O, M.A.; Rodríguez, L.A. y Aryal, D.R. 2020. Energy and economic efficiency of maize agroecosystem under three management strategies in the Frailesca, Chiapas (Mexico). *Agriculture* 10 (3) 81. <https://doi.org/10.3390/agriculture10030081>.
- Guevara, H. F., Hernández, R. M. A., Basterrechea, B. J. L., Pinto, R. R., Venegas, V. J. A., Rodríguez, L. L. A. y Cadena, I. P. 2019. Maíces locales; una contextualización de identidad tradicional. *Revista de la Facultad de Ciencias Agraria UNCUYO*. Tomo 51: ISSN: 1853-8665 (en línea). Pp. 369-381.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2001. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Publicado en el Diario Oficial de la Federación 23 de abril de 2003. México, D.F.

- Moreira, F. M. S., Huising, E. J. y Bignell, D. E. 2012. Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. 360 p.
- Astier, M.: Masera, O. y Galván-Miyoshi, Y. 2008. Evaluación de la sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. SEA/CIGA/ECOSUR/CIEco/UNAM/GIRA/Mundiprensa/Fundación Instituto de agricultura ecológica y sustentable, España. Bonifaió, Valencia, España. 200 p.
- Tonolli, J.A. 2019. Propuesta metodológica para la obtención de indicadores de sustentabilidad de agroecosistemas desde un enfoque multidimensional y sistémico. Revista FCA-UNCUYO. ISSN impreso: 0370466, ISSN LINEA: 1853-8665.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 2012. Manual de determinación de rendimiento. Edición: Modernización Sustentable de la agricultura Tradicional. México, D.F. 42 p.
- Funes, M. F. 2009. Agricultura con futuro, la alternativa agroecológica para cuba. Estación Experimental Indio Hatuey, Universidad de Matanzas. 176 p.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Un manual metodológico de evaluación económica. ISBN: 968-6127-24-0. México, D.F. 86 p.
- Delgado-Ruiz, F., Guevara-Hernández F., Acosta-Roca R. 2018. Farmers' criteria for maize (*Zea mays* L.) selection in Villaflores and Villa Corzo, Chiapas, Mexico. Ciencia UAT. 13(1): 123-134. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i1>.
- Hernández, V.M., García, J.G., Orozco, B.H. y Juárez, O.M.G. 2018. Vulnerabilidad socioambiental del maíz nativo frente al cambio climático en el estado de Tlaxcala, México. Revista Iberoamericana de las ciencias biológicas y agropecuarias. ISSN: 2007-9990. Vol. 7, No. 14. DOI: 10.23913/ciba.v7i14.80.
- Pineda, V. M.; Ortega, A. A.; Mesa, J. M.A y Escalona, S.G. 2019. Evaluating the sustainability of conservation and development strategies: The case of management units for wildlife conservation in Tabasco, Mexico. Journal of Environmental Management. ISSN: 0301-4797. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109260>.
- Álvarez, M. Y. 2015. Evaluación de indicadores de sustentabilidad agroecológica en sistemas de producción agrícola de baja california Sur, México. Tesis doctoral. Programa uso, manejo y preservación de los recursos Naturales. Centro de investigaciones biológicas del noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur. Pp. 31-115.
- Guajardo, P.R.A., Granado, R. G. R., Sánchez, C.I., Barradas, V.L., Gómez, R. J.C. y Díaz, P.G. 2018. Rendimientos de maíz (*Zea mays* L.) en escenarios de cambio climático en la región de la antigua, Veracruz, México. Revista Agrociencia 52: 725-739.

- Funes M. F., Suarez J., Blanco D., Reyes F., Cepero L., Rivero J. L., Rodríguez E., Savran V., del Valle Y., Cala M., Vigil M., Sotolongo J. A., Boillat S. y Sánchez J. E. 2011. Initial evaluation of integrated systems for food and energy production in Cuba. *Pastos y Forrajes*. 34(4):445-462.
- Funes, F., Monzote, M., Lantinga, E. A. and van Keulen, H. 2008. Conversion of specialised dairy farming systems into sustainable mixed farming systems in Cuba. *Environ. Dev. Sustain.*
- Alemán, P. R., y F. J. Brito. 2003. Balance energético en dos sistemas de producción de maíz en las condiciones de Cuba. *Centro Agric.* 30: 84-87
- Sánchez, M., P. y O. Romero, A. 2017. Combustibles fósiles y CO<sub>2</sub> en sistemas de milpa tradicional y maíz en monocultivo en Tlaxcala, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4(8): 919-932.
- Pimentel, D. 1980. *Handbook of energy utilization in agriculture*. Boca Raton, CRC Press.
- Purroy V., R., F. Gallardo L., P. Díaz R., E. Ortega J., S. López O. y G. Torres H. 2016. Energetic-economic flow as a tool to typify agroecosystems in the center of the state of Veracruz, Mexico. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 3(7):91-101.
- Stark, F., C. H. Moulin, C. Cangiano, M. Vigne, J. Vayssières y E. González G. 2016. Methodologies for evaluating farming systems. Part I. Generalities. Life cycle analysis (LCA) and ecological network analysis (ENA). *Pastos y Forrajes* 39(2): 81-88.
- Castelán, V. R.; Tamaríz, F. V.; Ruiz, C. L.; Linares, F. G. 2014. Evaluación de la sustentabilidad de la actividad agrícola de tres localidades campesinas en Pahuatlán, Puebla. *Revista ecosistemas y recursos naturales*. 1(3). Pp. 219-231.
- Gliessman, S.R., Rosado, M.F.J., Guadarrama, Z.C., Jedlicka, J., Cohn, A., Mendez, V.E., Cohen, R., Trujillo, L., Bacon, C. y Jaffe, R. 2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Revista ecosistemas*. 16 (1). Pp. 13-23.
- Schiere, J. B., M. N. M. Ibrahim, and Van Keulen, H. 2002. The role of livestock for sustainability in mixed farming: criteria and scenario studies under varying resource allocation», *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 90:139-153.
- Valdés, N., Pérez D., Márquez M., Angarica L. y Vargas D. 2009. Funcionamiento y balance energético en agroecosistemas diversos Cultivos Tropicales. 30(2):36-42.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA). 1999. *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Servicio de conservación de Recursos Naturales. Estados Unidos. 79 p.
- Jordán, L.A. 2006. *Manual de Edafología*. Departamento de cristalografía. Minerología y química agrícola de la Universidad de Sevilla. Sevilla, España. 143 p.
- Silva, M.F. 2001. *Fertilidad de suelos: Diagnóstico y control*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. 2ª. Edición. Bogotá, Colombia. 507 p.

- Primavesi, A. 1980. Manejo ecológico del suelo. Editorial Ateneo. 5ª. Edición. Sao Paulo, Brasil. 428 p.
- Instituto del fósforo y la potasa (INPOFOS). 1988. Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. Querétaro, Querétaro. 68 p.
- Camas, G. R., Turrent, F. A., Cortes, F. J. I., Livera, M. M., González, E. A., Villar, S. B., López, M. J., Espinosa, P. N. y Cadena, I. P. 2012. Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 3. Núm. 2. P. 231-243.
- Altieri, M.A. y Nicholls, C.I. 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. *Revista Ecosistemas* 16 (1)- Pp. 3-12.
- Aguilar, J. C. E.; Morales, C. J. A.; Galdámez, G. J.; Gutiérrez, M. A. y Martínez, A. F. B. 2017. Prácticas agroecológicas para la agricultura sostenible en la Depresión Central de Chiapas. Editorial Universidad Autónoma de Chiapas. ISBN: 978-607-8459-92-6. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 71 p.
- Campbell, R. 2001. Ecología microbiana. Editorial Limusa. ISBN:968-18-2110-6. México, Distrito Federal. 255 p.
- Cleveland, C. C. y Liptin, D. 2007. C:N:P stoichiometry in soil: is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass?. *Journal Biogeochemistry*. 85: 235-252. Doi: 10.1007/s10533-007-9132-0.
- Correa, O. 2013. Los microorganismos del suelo y su rol indiscutido en la nutrición vegetal. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 11p.
- Miranda T., Rey M., Hilda, M., Julio B. y Pedro D. 2008. Economic valuation of environmental goods and services in two ecosystems of cattle use. *Zootecnia Tropical*, 26 (3):1-3.
- Martínez, A. F. B.; Tevera, A. J. A.; Guevara, H. F. 2019. Caracterización de productores de maíz (*Zea mays* L.) en el municipio de Villaflores. Chiapas. *Revista Congreso mesoamericano de investigación UNACH*. No. 6. ISSN: 2395-8111. P. 131.
- Delgado, R. F. 2017. Evaluación energética y económica del sistema de producción de maíz (*Zea mays* L.) bajo prácticas convencionales y de conservación en la región Frailesca. Tesis de Maestría. Facultad Ciencias Agronómicas de la Universidad Autónoma de Chiapas. Villaflores, Chiapas. México. 83 p.
- Andersen, P. S. Vejre, H. Dalgaard, T y Brandt, J. (2013). An Indicator based Method for Quantifying Farm Multifunctionality. *Ecological Indicators*. 25:166-179.
- Hernández, Ramos M. A., F. Guevara Hernández, L. A. Rodríguez Larramendi, M. Á. Rosales Esquinca, H. Gómez Castro, A. Hernández López, R. Pinto Ruiz y F. J. Medina Jonapá. 2013. Eficiencia energética y económica del proceso de producción del sistema maíz en una comunidad rural. *In: Alberto Conde Flores, Pedro Antonio*

- Ortiz Báez, Alfredo Delgado Rodríguez, Francisco Gómez Rábago (Coords). *Naturaleza-Sociedad: Reflexiones desde la complejidad*. CIISDER: Centro de Investigaciones Interdisciplinarias sobre Desarrollo Regional. Universidad Autónoma de Tlaxcala. Tlaxcala, México. Pp: 130-150. ISBN: 978-607-7698-98-2.
- Aguilar, J. C. E.; Tolón, B. A y Lastra, B. X. 2011. Evaluación integrada de la sostenibilidad ambiental, económica y social del cultivo de maíz en Chiapas, México. *Rev. FCA UNCUYO*. ISSN 0370-4661. Tomo 43. N° 1. Año 2011. Buenos Aires, Argentina. Pp. 155-174.
- Sánchez, M. P.; Ocampo, F. I.; Parra, I. F.; Sánchez, E. J.; María, R. A. y Argumedo, M. A. 2014. Evaluación de la sustentabilidad del agroecosistema maíz en la región de Huamantla, Tlaxcala, México. *Agroecología* 9 Pp 111-122.
- Navarro, B.S. y Navarro, G.G. 2003. *Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Editorial mundi-prensa. Segunda Edición. México, D.F. 432 P.
- Pavón, Z. C. E. y Arguello, H. J. 2016. Caracterización del sistema de producción de maíz en la región Frailesca Chiapas, México. Elementos para la línea base. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Agronómicas, UNACH. Villaflores, Chiapas. 56 p.
- Kumaraswamy, S. 2012. Sustainability issues in agro-ecology: Socio-ecological perspective. *Agricultural Sciences* 3(2): 153-169.
- Castillo, R. D.; Tapia, R. M.; Brunett, P. L; Márquez, M. O.; Terán, V. O y Espinosa, A. E. 2012. Evaluación de la sustentabilidad social, económica y productiva de dos agroecosistemas de producción de leche en pequeña escala en el municipio de Amecameca, México. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (3) Pp. 690-704.
- Olsson, L., and B. Ness. 2019. Better balancing the social and natural dimensions in sustainability research. *Ecology and Society* 24 (4):7. <https://doi.org/10.5751/ES-11224-240407>
- Sarandon, S. J. Flores, C. C. 2009. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Revista Agroecología* 4. Pp.19-28.
- Arellano, V.I., Pinto, R. R., Guevara, H. F., Reyes, M. L., Hernández, S. D. y Ley, C. A. 2016. Caracterización del uso directo del rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) por bovino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 7. Num. 5 Pp. 1117-1129.

#### **4.6 Escenarios posibles del agroecosistema maíz para la región Frailesca de Chiapas, México**

Franklin B. Martínez-Aguilar <sup>1</sup>, Francisco Guevara-Hernández <sup>2</sup>, Manuel Alejandro La O-Arias<sup>2</sup>, José Nahed-Toral<sup>3</sup>; Carlos Ernesto Aguilar-Jimenez<sup>2</sup>, René-Pinto Ruiz<sup>2</sup> y Rubén Puentes-Santarsieri<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad. Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Carretera Ocozocoautla - Villaflores Km. 84.5. C.P. 30470 Apdo. Postal 78, Villaflores, Chiapas.

<sup>2</sup> Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Facultad de Ciencias Agronómicas. Carretera Ocozocoautla - Villaflores Km. 84.5. C.P. 30470 Apdo. Postal 78, Villaflores, Chiapas.

<sup>3</sup> Investigador titular en El Colegio de la Frontera Sur, Sede San Cristóbal de las Casas.

<sup>4</sup> Consultor internacional y ExVicepresidente asociado de la Fundación Rockefeller. Punta del Este, Uruguay

El artículo de escenarios integra una visión a futuro sobre la situación del agroecosistema maíz de la región Frailesca. Para ello, se construyeron tres escenarios cueste lo que cueste, siempre verde y cuesta menos, la diferencia radica en la cantidad de energía utilizada, la gestión de los recursos naturales y el manejo de ganado vacuno como alternativa productiva. Al finalizar el horizonte del escenario siempre verde estará más fortalecido por tener una filosofía en la conservación de los recursos naturales y socialmente organizados en pequeñas cooperativas para la comercialización de sus productos agroecológicos. Comparado con los otros escenarios, que la filosofía radica en producir sin conservar.

El cambio climático y la variabilidad climática tienen gran impacto en el agroecosistema maíz, a través de los fenómenos extremos que suceden con mayor frecuencia en la franja tropical del mundo y afectan directamente con sequías, inundaciones, olas de calor e incendios forestales a la productividad del agroecosistema maíz.

Este artículo científico atiende al objetivo particular tres, hipótesis específica tres y tiene como propósito la integración de los componentes del agroecosistema para proyectar rutas o espacios futuros del agroecosistema maíz.

## ESCENARIOS POSIBLES DEL AGROECOSISTEMA MAÍZ PARA LA REGIÓN FRAILESCA DE CHIAPAS, MEXICO

Franklin B. Martínez-Aguilar <sup>1</sup>, Francisco Guevara-Hernández <sup>2</sup>, Manuel Alejandro La O-Arias<sup>2</sup>, José Nahed-Toral<sup>3</sup>; Carlos Ernesto Aguilar-Jimenez<sup>2</sup>, René-Pinto Ruiz<sup>2</sup> y Rubén Puentes-Santarsieri<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad. Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Carretera Ocozocoautla - Villaflores Km. 84.5. C.P. 30470 Apdo. Postal 78, Villaflores, Chiapas.

<sup>2</sup> Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Facultad de Ciencias Agronómicas. Carretera Ocozocoautla - Villaflores Km. 84.5. C.P. 30470 Apdo. Postal 78, Villaflores, Chiapas.

<sup>3</sup> Investigador titular en El Colegio de la Frontera Sur, Sede San Cristóbal de las Casas.

<sup>4</sup> Consultor internacional y ExVicepresidente asociado de la Fundación Rockefeller. Punta del Este, Uruguay

### RESUMEN

Los escenarios son una proyección que describen los posibles sucesos en el futuro y permite conocer la situación que guardaría en el tiempo un hecho, una situación o una realidad. El objetivo del presente trabajo de investigación fue construir los posibles escenarios sobre el agroecosistema maíz de la región Frailesca. Para ello, se utilizó la metodología prospectiva que consiste en el análisis del problema, la búsqueda de variables clave, el análisis de actores y sus estrategias y análisis morfológicos para la elaboración de los escenarios posibles. Los tipos de escenarios construidos en esta investigación, son del tipo exploratorio, que parten de tendencias pasadas y presentes, así como de información obtenida de los actores locales, expertos y del trabajo de investigación sobre la sustentabilidad del agroecosistema realizado en la zona. Los escenarios construidos: Cueste lo que cueste, Siempre verde y Cuesta menos, tienen un horizonte al 2030. El escenario Cueste lo que cueste representa al agroecosistema basado en la energía industrial, donde la comercialización del producto es a base de contratos a futuro, con un alto costo de producción y mala gestión de los recursos naturales. El escenario Siempre verde se visualiza al agroecosistema como el sustentador de una agricultura familiar, donde utilizan prácticas de conservación del suelo e incorpora rotación de cultivos, policultivos y abonos orgánicos; sin embargo, la producción está orientada a la subsistencia. El escenario Cuesta menos representa al agroecosistema donde se practica una agricultura que incorpora prácticas de conservación del suelo, usa moderadamente los agroquímicos, es eficiente energéticamente y como alternativa productiva se combina con actividades de

ganadería bovina de doble propósito, como fuente de ingreso permanente. Los tres escenarios están amenazados por la dinámica del cambio climático y su variabilidad.

Palabras claves: Agroecosistema, Proyecciones, Tendencias

## INTRODUCCIÓN

En México, el agroecosistema maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más representativo por su importancia económica, social y cultural, con un consumo per cápita de 196.4 kg de maíz (SAGARPA, 2017) y una producción interna de aproximadamente 27.22 millones de toneladas, inferior a la demanda nacional. Este hecho, obliga a importar aproximadamente 15 millones de toneladas anuales. Por esta razón, el maíz constituye actualmente una cuestión de seguridad alimentaria (SIAP, 2019).

Chiapas es uno de los diez estados principales productores de maíz en México, aporta 1,255,419.51 toneladas anuales. En este estado, la región Frailesca fue considerada hasta 2016 el “granero de Chiapas” con una superficie cultivada de 61,365.50 ha, y un rendimiento promedio de 3.35 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2019). En el contexto productivo de la región citada existen dos visiones tecnológicas. Por un lado, está la visión convencional basada en el uso de paquetes tecnológicos, y sustentada en un enfoque para la intensificación del agroecosistema, pero dependiente en su totalidad de insumos industriales. Esta situación ha generado problemas cuyos efectos son visibles y socialmente cuestionados. Sobresale el hecho de que muchos productores abandonan la producción de maíz debido a los altos costos de producción que alcanzan los \$20,889 pesos mexicanos por hectárea (FIRA, 2019). Un elemento clave en esta problemática es el rendimiento agrícola, afectado por la degradación de los suelos, la acidificación, pérdida de materia orgánica y compactación de suelos (Aguilar *et al.*, 2008; López *et al.*, 2018 y López *et al.*, 2019). Por otro lado, existe una visión ambiental por parte de varios actores del desarrollo local, basada en la agroecología y que promueve el uso mínimo de insumos agrícolas, y además reconoce y utiliza tecnologías locales. Sin embargo, hay perspectivas intermedias donde las características de ambas visiones se unen dinámicamente y dan forma a una corriente productiva por demás interesante desde la perspectiva del desarrollo del sector y de la ciencia. Ocaña (2015); Guevara (2017) y Guevara *et al.* (2018) realizaron algunos estudios sobre los actores que promueven el desarrollo agropecuario y los aspectos tecnológicos que sustentan estas formas de manejo del agroecosistema.

En ese sentido, existen amenazas hacia el agroecosistema maíz por el deterioro de los recursos naturales disponibles, uso de energía externa utilizada en el proceso de producción, tecnología empleada y los elementos del clima como la temperatura y lluvia, principalmente en la agricultura de temporal (López y Hernández, 2015 y Orozco

*et al.*, 2019), que son más frecuentes a nivel global, nacional, estatal y local, esto sucede de manera natural y a causa de las actividades antropogénicas, el clima ha presentado cambios a lo largo de los años, dando como resultado el calentamiento global (CEPAL, 2011). Esto amenaza la producción de alimentos a través de la variabilidad climática con sequías, inundaciones y olas de calor, afectando a los diferentes agroecosistemas en el rendimiento de los cultivos y aumento en las plagas y enfermedades. Estos factores ambientales han modificado las fechas de siembra, material genético y el uso de diferentes tecnologías (SAGARPA, 2017; Sonder, 2018).

La región Frailesca de Chiapas, es una región importante por su producción de maíz, se basa en altas cantidades de insumos y agroquímicos, lo que, a través de los años, ha generado problemas al suelo debido a la degradación física, química y biológica y como consecuencia la disminución en superficie cultivada y producción regional. Por ello, los estudios de análisis prospectivos partiendo de una realidad actual, conocida y documentada, son necesarios para visualizar a futuro las tendencias o rutas que podrían seguir los productores para mantener el agroecosistema maíz, al considerar como eje base los criterios de la sustentabilidad: ecológico, económico y social (Mäser *et al.*, 2000). En ese sentido, el diseño de escenarios exploratorios del agroecosistema maíz a partir de la evidencia científica a un nivel local, se vuelve relevante y crucial para la planeación estratégica con miras al horizonte 2030. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue construir los posibles escenarios sobre el agroecosistema maíz de la región Frailesca.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La investigación se realizó en la región Frailesca del estado de Chiapas, la cual se caracteriza por su importante actividad agrícola, en especial por su alta producción de maíz con un rendimiento promedio de 3.35 t ha<sup>-1</sup>, el más alto del estado (SIAP, 2019). Esta región cuenta con gran potencial para el cultivo de maíz y registra una superficie sembrada de 61,365.50 ha. Se distingue por presentar una agricultura de pequeña escala, donde los productores tienen diferentes variantes tecnológicas impuestas por las condiciones orográficas y edafoclimáticas. El agroecosistema maíz es de ciclo anual, y se sustenta en la lluvia estacional (temporal); es decir, aprovechan la época de precipitación pluvial comprendida entre los meses de junio a diciembre. Se emplean técnicas de laboreo tradicionales con el uso de herramientas típicas como la coa, el azadón, machete y equipos sencillos como aspersoras para la aplicación de productos químicos, y para la cosecha emplean máquinas desgranadoras de maíz (INEGI, 2012).

### **Metodología**

Para el diseño de los escenarios se utilizó la metodología propuesta por Puentes (2009) y Tapia (2016), que consiste en el análisis de la problemática del

agroecosistema, la búsqueda de variables claves, el análisis de estrategias de actores, el análisis morfológico de los criterios de selección de las variables y propuestas claves de los expertos (Figura 1). Los escenarios construidos son exploratorios, y parten de tendencias pasadas y presentes, así como de la información obtenida de los actores locales, expertos y académicamente se sustenta en los trabajos de investigación realizados en el área de estudio. Sobre la base de ello, se espera proyectar rutas o espacios futuros verosímiles (Miklos y Arroyo, 2008).

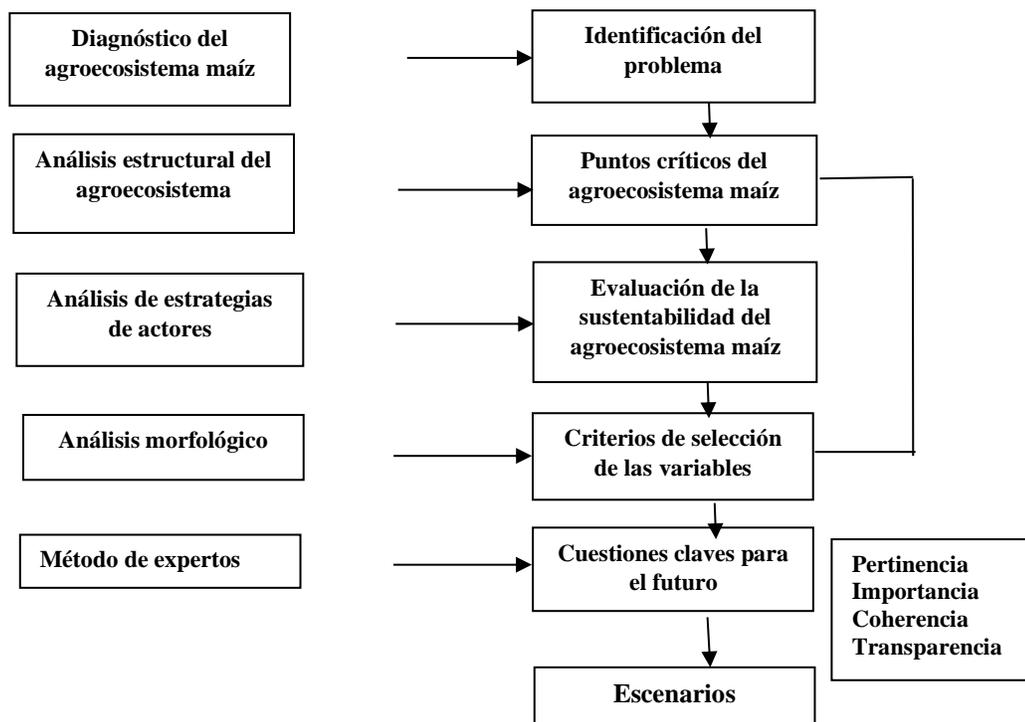


Figura 1. Pasos metodológicos para la construcción de escenarios del agroecosistema maíz. Basado en Tapia (2016).

### Análisis del problema

Para la identificación de la problemática del agroecosistema, se realizó una caracterización socio-productiva, energética y económica mediante un enfoque sistémico de investigación interdisciplinaria orientada al desarrollo y el uso de los criterios económico, social y ambiental según Chambers (1993), Guevara-Hernández (2007), Hagmann (1999) y Rodríguez y Guevara (2009) y esta primera etapa de investigación permitió la tipificación de los productores de maíz de la región. Para la tipificación, las variables de diferenciación fueron: superficie de tierra sembrada, uso de mano de obra, destino de la producción, tipo de semilla utilizada, cantidades empleadas de fertilizante, herbicidas, insecticidas, uso de maquinaria y prácticas de conservación de suelo (Martínez *et al.*, 2020). Todo ello fue con el propósito de agrupar a los productores e identificar las variantes tecnológicas que se utilizan en la región.

De acuerdo con Guevara *et al.* (2018) y Martínez *et al.* (2020) en la región predominan tres variantes tecnológicas (convencional, agroecológico y mixto) las cuales se diferencian por la intensidad del uso de agroquímicos y productos de síntesis industrial, así como las prácticas para la conservación del suelo.

### **Puntos críticos del agroecosistema maíz**

Para la identificación de los puntos críticos del agroecosistema, se entrevistaron a 35 informantes clave de las comunidades estudiadas (comisariados ejidales, consejos de vigilancia, productores destacados y productores con más años de cultivar maíz). Además, se realizó un análisis del agroecosistema, con el propósito de identificar los aspectos que limitan o fortalecen al agroecosistema maíz. En la determinación de los puntos críticos se incluyeron los criterios (ambiental, económico y social).

### **Análisis de actores del agroecosistema maíz**

Se realizó un análisis de actores que participan directa e indirectamente en el agroecosistema maíz de acuerdo con Guevara (2017) y Guevara *et al.* (2018). Además de la evaluación de la sustentabilidad que se realizó en la región (Martínez *et al.*, 2020b), así como la situación que guardan los suelos de acuerdo López *et al.* (2018) y López *et al.* (2019), con el propósito de tener una visión más amplia de la situación actual de la zona.

### **Análisis morfológico del agroecosistema**

Este análisis de acuerdo con Miklos y Arroyo (2008) y Tapia (2016) es un método analítico que explora de manera sistemática los futuros posibles a partir del estudio de todas las combinaciones resultantes de la descomposición del agroecosistema. Por ello, se realizó una descomposición del agroecosistema desde el punto de vista energético, económico, tecnológico, recursos naturales y social. Esto permite explorar la estructura y funciones del agroecosistema y facilita el proceso de análisis del todo para la determinar las variables de mayor relevancia en el sistema.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El agroecosistema maíz de la región Frailesca, se caracteriza por una agricultura de pequeños productores con diferentes formas de manejo (convencional, agroecológico y mixto), los cuales, a su vez, presentan diversos manejos del cultivo (Figura 2) (Martínez *et al.*, 2020a). Sin embargo, el agroecosistema maíz presenta amenazas globales como el cambio climático, que se intensificará con ondas de calor, sequías e inundaciones de manera más frecuente en la agricultura (Serrano y Leniham, 2013). Las amenazas locales que también afectan al agroecosistema son: uso intensivo de productos de síntesis industrial, degradación del suelo, sequías y altos costos de producción.

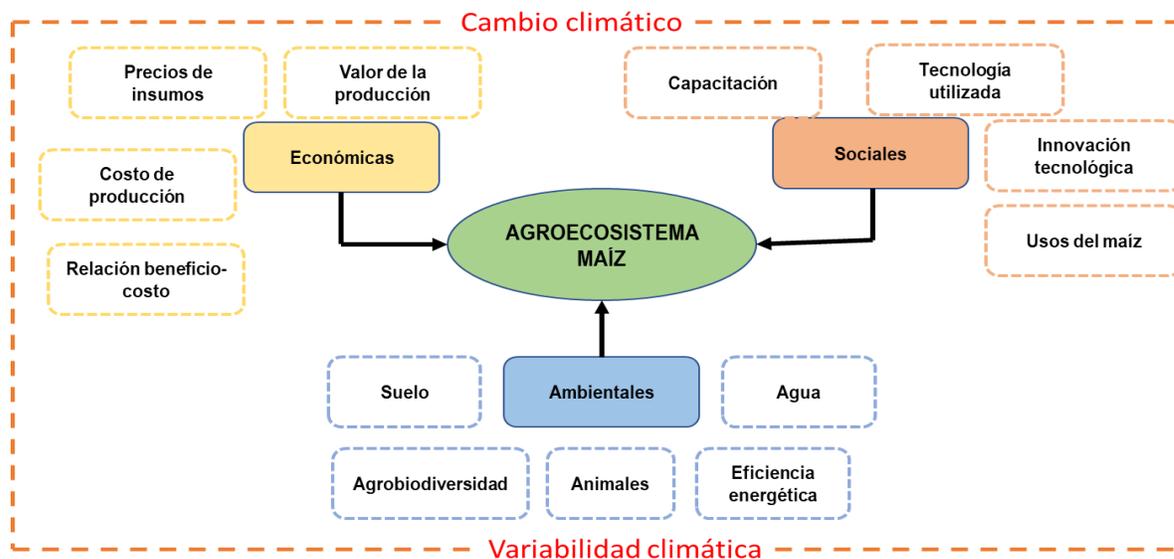


Figura 2. Componentes del agroecosistema maíz de la región Frailesca.

No obstante, las estrategias locales que siguen los productores ante estos cambios y desafíos, son con frecuencia una mezcla de conocimientos locales y el generado a través de la investigación científica y que dan forma a un agroecosistema diverso en su manejo y en la toma de decisiones por parte del agricultor, lo que a su vez, genera un mosaico de variantes, pero que logran agruparse en las tres siguientes:

#### Manejo convencional

De acuerdo con Martínez *et al.* (2020b), el manejo convencional basa su fortaleza en la productividad del agroecosistema; sin embargo, muestra debilidades por el uso intensivo de agroquímicos. Por esta razón, se considera ambiental y socialmente cuestionable a mediano y largo plazo, lo que coincide con lo reportado por Altieri y Toledo (2011). La intensidad en el uso de los agroquímicos tiene efectos sobre la biodiversidad funcional del agroecosistema, lo que se refleja en una diversidad baja de especies de microorganismos y macrofauna del suelo, de acuerdo con el índice de Shannon y Weaver ( $H' = 0.789$ ) (Cuadro 1) de acuerdo a lo encontrado en el marco general de esta investigación (Martínez *et al.*, 2020c). En su mayoría, los suelos del manejo convencional muestran una degradación moderada, porque la textura que predomina es franco-arenoso, los cuales tienen condiciones para producir maíz de manera limitada y en concordancia con López *et al.* (2019).

Cuadro 1. Indicadores ambientales, sociales y económicos del agroecosistema maíz bajo tres formas de manejo.

Indicadores	Convencional		Agroecológico		Mixto	
	Media	E.E	Media	E.E	Media	E.E
Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	4727.2	368.75	3411.1	407.66	4033.3	315.77
Eficiencia energética (EP/EC)	6.04	0.52	4.65	0.57	6.47	0.44
Relación Beneficio/Costo	1.56		1.56		1.49	
pH	5.25	0.134	5.05	0.149	5.24	0.115
M.O (%)	2.58	0.52	3.5	0.580	3.45	0.46
CIC (Cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	12.54	3.509	13.96	3.879	14.95	3.11
Macrofauna del suelo (H')	0.789		1.121		0.924	
Microorganismos en el suelo (H')	0.850		1.254		0.943	

En el marco de este proyecto de investigación, la relación beneficio-costo promedio observada fue de 1.56 pesos y una eficiencia energética de 6.04 (Cuadro 1), lo que significa que el agroecosistema maíz es energéticamente viable y económicamente rentable (Martínez *et al.*, 2020). Sin embargo, un agroecosistema dependiente de insumos externos modifica su costo de producción de manera cíclica, por la fluctuación de precios de los productos que se utilizan en el proceso productivo; además, del daño que ocasiona al ambiente y los recursos naturales (Casanova *et al.*, 2019).

Desde el punto de vista social, los productores bajo el manejo convencional cuentan con mayores posibilidades de comercializar su producto, sin la intervención de intermediarios. Generalmente, sus unidades de producción se encuentran cercanas al punto de venta del grano. En otro sentido, se encontró que el 45% de los productores padecen alguna enfermedad ocasionada por el uso de agroquímicos, esta situación es recurrente entre los productores por la baja cultura de protección ante la aplicación de los productos químicos, esto ocasiona inestabilidad familiar y económica por los diversos medicamentos que tienen que comprar para el manejo del padecimiento.

#### Manejo agroecológico

El agroecosistema maíz bajo el manejo agroecológico, presenta una eficiencia energética de 4.65, lo que es consistente con los rendimientos obtenidos. Sin embargo, los suelos bajo esta forma de manejo presentan mejores características físicas, químicas y biológicas. Esto se refleja en una mayor diversidad de la macrofauna del suelo (H'=1.121) y mayor número de especies de microorganismos (H'=1.254).

Desde el punto de vista económico, el manejo agroecológico presentó una relación beneficio-costo de 1.56 pesos. Esto es debido al bajo costo de producción, sin importar que el rendimiento sea menor comparado con las otras formas de manejo. Además, al realizar cultivos asociados, los productores obtienen productos o ganancias adicionales que utilizan para consumo familiar y/o venta. Para disminuir el costo de producción en cuanto a mano de obra, en las comunidades se practica la mano de obra por invitación; es decir, que de manera rotativa los productores se apoyan para la cosecha y el desgrane de manera colaborativa.

Desde el punto de vista social, los productores con el manejo agroecológico se encuentran en una ubicación geográfica más lejana a los puntos de venta del grano, y utilizan al intermediario para comercializar su cosecha. Con mucha frecuencia, sus parcelas se localizan en zonas de amortiguamiento de reservas naturales protegidas y presentan una orografía de relieve montañoso. Además, no cuentan con fuentes de ingreso diferentes a las del sector agrícola, salvo los apoyos gubernamentales (subsidios sociales) que les proporcionan de manera irregular.

#### Manejo mixto

El agroecosistema maíz manejado bajo la forma mixta, presentó una eficiencia energética de 6.47, esto es debido al rendimiento obtenido y un bajo gasto energético cultural y biológico. Por otro lado, la implementación de algunas prácticas agroecológicas como labranza de conservación y cultivos asociados, las cuales se hacen para conservar el suelo, se reflejan en un buen contenido de materia orgánica (3.45 %). Se observó una adecuada diversidad en la macrofauna del suelo ( $H'=0.924$ ) e igualmente para los microorganismos presentes en el suelo ( $H'=0.943$ ). Sin embargo, la densidad aparente mostró al suelo compactado. Esto se atribuye al uso excesivo de maquinaria agrícola en estos suelos tropicales. Además, este grupo de productores pastorea el ganado bovino en las parcelas después de la cosecha lo que conocemos como rastrojeo, al utilizar los residuos de la cosecha de maíz para alimentar el ganado en la época de estiaje. Esto contribuye a la degradación del suelo, al dejarlo sin cobertura y exponerlo al pisoteo; por ello, una mayor protección del suelo a través de prácticas agroecológicas, favorece a las características físicas, químicas y biológicas. Desde el punto de vista económico, esta forma de manejo presenta buena relación beneficio-costo con 1.49 pesos. Esto significa que el costo de producción no es muy alto, lo que sin duda se asocia al rendimiento obtenido y al precio de venta del grano. En cuanto a la dimensión social, los productores bajo esta forma de manejo, con frecuencia buscan innovar para mejorar el agroecosistema (68 % de productores) con productos nuevos, prácticas para el cultivo y genotipos de maíz nuevos. Asimismo, en cuanto a la tenencia de la tierra el 65 % son ejidales y el resto (35 %) rentan las parcelas para producir maíz y otros cultivos. Estos productores se encuentran en una

etapa de transición entre el manejo convencional y el agroecológico, porque hacen uso de prácticas de ambas formas de manejo, diferenciándose de las otras formas por la incorporación del ganado bovino al agroecosistema.

### Actores del agroecosistema maíz

Los actores que participan directa e indirectamente en el agroecosistema maíz son diversos (Figura 3) desde los que dictan las políticas agropecuarias a nivel nacional, estatal y municipal hasta los que ejecutan los programas sectoriales de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y que inciden directamente en los apoyos económicos a los productores a través de diferentes proyectos productivos.



Figura 3. Actores del agroecosistema maíz en la Frailesca, Chiapas, México.

Las instituciones públicas como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) contribuyen con el mejoramiento genético de maíces adaptados a la zona para generar nuevos híbridos o variedades, así como en la evaluación de diferentes tecnologías potenciales como arreglos topológicos y prácticas agronómicas, etc. Las Universidades a través de los investigadores realizan experimentación de productos ligados al ambiente como el uso microorganismos que mejoren el rendimiento y las condiciones del suelo. Esto con el propósito de generar nuevas tecnologías amigables con el ambiente.

Las instituciones privadas como el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) a través del programa MasAgro implementan prácticas para el mejoramiento del suelo y para el incremento del rendimiento con tecnologías sustentables como la inoculación de semillas, enclado de suelos, uso de

micronutrientes y el aumento de la densidad de población por unidad de superficie. La empresa MASECA participa en la compra del maíz. Además, existen aseguradoras por daños naturales (sequía, inundaciones, plagas y enfermedades), normalmente este seguro está incluido en el costo de producción que promueve el Fideicomiso Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) y otros despachos agropecuarios a través del financiamiento agrícola. Asimismo, las empresas comercializadoras de semillas híbridas y variedades mejoradas hacia los productores.

Los productores normalmente se organizan cuando existen apoyos gubernamentales para la adquisición de insumos agrícolas (semillas, fertilizantes químicos, insecticidas y herbicidas) en grupos de trabajo ante la oficina de Fomento Agropecuario, que dependen de los municipios para obtener los beneficios. Sin embargo, existen productores organizados bajo otras figuras jurídicas como las Sociedades de Producción Rural (SPR), Sociedades de Solidaridad Social (SSS) y las Asociaciones Civiles (AC), y que están formalmente reconocidos por el servicio de administración tributaria (SAT) al pagar sus impuestos anuales, también el ejido es una figura jurídica ante las instancias agrarias. El intermediario conocido como “coyote”, cumple una función social en la compra y traslado del producto a los puntos de venta del maíz, sobre todo para aquellos productores de comunidades más alejadas de las zonas urbanas.

Es importante señalar que en el contexto de esta región, la religión juega un papel importante de manera indirecta en el agroecosistema maíz, porque existen productores que realizan diversos rituales con el propósito de tener una buena cosecha y “piden” que las lluvias sean bien distribuidas durante el crecimiento y desarrollo de la planta de maíz. Los productores denominados cristianos o protestantes, demuestran una mayor hermandad en las labores del cultivo (cosecha y desgrane) y se hacen invitaciones para colaborar en las parcelas de los vecinos, sin cobrar. Además, las ofrendas son diversas cuando se cosecha el cultivo.

Los actores del sector agrícola, particularmente los concernientes al agroecosistema maíz, se encuentran vinculados de manera directa e indirecta, temporal o permanente, con dinámicas de interacción recíprocas o unidireccional, pero con funciones específicas. Por ello, el análisis debe ser sistémico y de manera articulada para conocer el nivel de intervención (Guevara, 2017; Guevara *et al.*, 2018).

### **Variables del cambio**

Para la construcción de escenarios sobre el futuro del agroecosistema maíz con sus tres formas de manejo (convencional, agroecológico y mixto) se identificaron las principales variables que determinan las posibles trayectorias futuras. Las variables

más útiles son aquellas denominadas críticas de alto impacto, pero a la vez son de muy difícil predicción (Figura 4). Las variables de alto impacto de las cuales existe certeza acerca de cómo evolucionan en el futuro (en la figura se denominan determinadas), son importantes en el análisis final de los escenarios, pero no son los que permiten la construcción de los escenarios diferenciado.

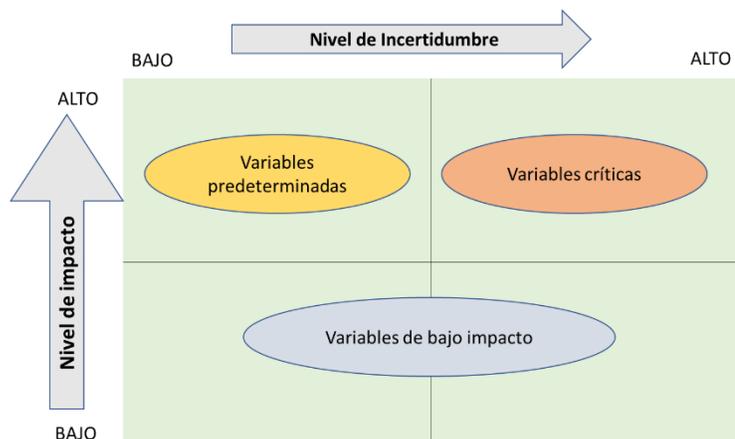


Figura 4. Esquema de ubicación de las variables de cambio en una matriz con nivel de impacto y grado de incertidumbre como ejes. Fuente: basado en Puentes (2009).

En la Figura 5 se observa la agrupación de las variables críticas que surgen como determinantes para el análisis del futuro del agroecosistema maíz, obtenidas a partir de encuestas y entrevistas semiestructuradas, en las cuales se destaca el cambio climático, uso de energía, estado de los recursos naturales e innovación tecnológica.

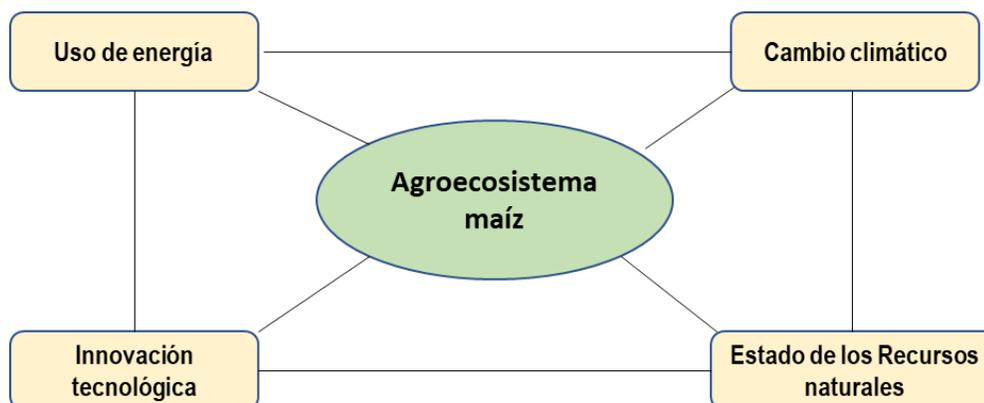


Figura 5. Variables críticas para el futuro del agroecosistema maíz.

### El cambio climático

Esta variable es de alto impacto e impredecible por los efectos diferentes que puede tener en la agricultura. Por ello, los productores locales y de otras regiones del país han modificado las fechas de siembra para librar el período de sequía durante el

crecimiento del cultivo denominado sequía intraestival o “canícula” así como la búsqueda de materiales genéticos más precoces. Además, se tiene que utilizar variedades locales e híbridas más resistentes a la sequía, para disminuir el efecto en la productividad. Todo esto concuerda con lo reportado por Ruiz (2012) y Pinilla *et al.* (2012).

En este sentido, es importante resaltar que la época de lluvia en la región Frailesca, está condicionada a las ondas tropicales distribuidas entre los meses de junio y octubre, y con frecuencia, la precipitación está bien sincronizada con el crecimiento y desarrollo del cultivo. Sin embargo, en la última década la precipitación se ha mostrado errática y de manera zonificada, porque en la misma región, existen variaciones muy evidentes (Sonder, 2018). Además, las temperaturas altas y humedad relativa elevada provocan enfermedades fungosas como el complejo mancha de asfalto (*Phyllacora maydis*, *Monographella maydis* y *Coniothyrium phyllacorea*), y ocasiona que el productor aplique más productos químicos para contrarrestar los efectos de las enfermedades, pero a la vez genera un aumento en el costo de producción.

Estas condiciones de incertidumbre debido a los cambios en los patrones del clima, han provocado pérdidas para los productores que practican el monocultivo. Por el contrario, este efecto se reduce cuando existe una diversificación de especies en el agroecosistema, porque a mayor cobertura el suelo, se conserva humedad para el maíz como lo indican Viguera *et al.* (2017) y Jiménez *et al.* (2011). Por ello, los genotipos locales de maíz presentan una mayor adaptación en la región, comparada con la mayoría de los híbridos comerciales que han sido evaluados bajo condiciones climáticas adversas (Delgado *et al.*, 2018). Así mismo, el suelo cuando se quema, utiliza herbicidas y sin prácticas de conservación presenta impactos negativos en sus procesos biológicos y físico-químicos. (Guajardo *et al.*, 2018).

De acuerdo con Magaña (2014) y López (2015) los cambios en temperatura y precipitación serían moderados para el 2030; sin embargo, podrían ser profundos y difíciles de revertir si sobrepasan umbrales negativos y que la variabilidad climática se refleje en mayores huracanes, lluvias torrenciales, sequías prolongadas, olas de calor e incendios forestales, afectando los procesos fisiológicos, ciclos de crecimiento, nichos ecológicos de especies, desarrollo de plagas y enfermedades. Esto mismo, generaría alteraciones en la vegetación debido a cambios en los patrones de precipitación y suelos semiáridos por la poca disponibilidad de agua.

En ese sentido, se proyecta una disminución en la productividad de los cultivos y en la ganadería, con suelos más secos por escasez de agua y una disminución en general de la productividad, la pérdida de biodiversidad por la extinción de especies (Nelson *et*

*al.*, 2009; Munguía *et al.*, 2015). Estos impactos a largo plazo en la agricultura serán altos y predominantemente negativos, que afectarían a la población más pobre y vulnerable. Los factores determinantes en este campo serían la variabilidad climática y la mayor frecuencia de eventos externos (Ocampo, 2011).

### **Uso de energía**

El uso de energía es necesario para las actividades que la población desarrolla en la vida cotidiana; sin embargo, la energía puede ser producida de manera renovable o con productos no renovables como el petróleo; en ese sentido, el petróleo es importante para la producción de gasolina, la cual es necesaria para el transporte de insumos y productos de diferentes regiones del país. Asimismo, los fertilizantes químicos e insumos agrícolas sus precios son muy fluctuantes porque son derivados del petróleo y esto se refleja en los costos de producción y en el precio de los alimentos (IPCC, 2011; Sánchez y Romero, 2017).

Existen alternativas en la generación de energía renovable como los biocombustibles; sin embargo, existe competencia entre las tierras para la producción de alimentos y los biocombustibles, además es muy incipiente el uso de este combustible por la poca infraestructura para producirlo. En la región Frailesca, se utiliza la energía eléctrica para riego, diesel para el uso de maquinaria agrícola y la gasolina para los vehículos que trasladan el producto cosechado. En las ciudades se utiliza el gas y en comunidades leña y gas, para cocinar los alimentos.

Las diferentes formas de manejo (convencional, agroecológica y mixta) que se utilizan en la zona de estudio para producir maíz, la forma de manejo convencional usa la mayor cantidad de energía fósil desde la preparación del terreno, crecimiento y desarrollo del cultivo con diferentes insumos agrícolas (fertilizantes químicos, herbicidas, fungicidas e insecticidas) y durante el desgrane. Así mismo, la forma de manejo mixta utiliza menos energía fósil, porque alterna prácticas de ambos sistemas (agroecológico y convencional) y la forma de manejo agroecológica, es la que menos utiliza insumos externos.

Se tiene proyectado que para el 2030 se incrementará el uso de energía no renovable, porque existe abundantes reservas de petróleo; en ese sentido, las actividades agrícolas constituyen un importante mercado de insumos químicos sin importar los impactos ambientales, económicos y sociales (Hazell y Pachauri, 2009).

### **Estado de los recursos naturales**

Los recursos naturales juegan un papel primordial en la vida del ser humano y sobre todo del recurso suelo que es la base para la producción de alimentos; sin embargo,

presenta degradación por las diferentes actividades agrícolas que promueven una intensificación del agroecosistema y no promueven la conservación (Aguilar *et al.*, 2017). Además, la deforestación promovida por el incremento de áreas nuevas de producción, esto origina pérdida de recursos genéticos, explotación de los mantos freáticos para riego y la contaminación del agua por los insumos de síntesis industrial. Además, los incendios forestales provocado por la quema de rastrojo como preparación del suelo para siembra del cultivo.

Se proyecta una intensificación sobre los ecosistemas y recursos naturales hacia el 2030, principalmente por el cambio de uso del suelo y los aspectos relacionadas con el agua. Además, la pérdida de la biodiversidad, el aumento de los servicios ecosistémicos y la erosión del suelo son factores muy importantes que limitan la conservación de estos recursos. Así mismo, las inversiones en tecnología, acciones proactivas para abordar los problemas ambientales y una gestión adaptativa son prioridad para mitigar el efecto negativo.

### **Innovación tecnológica**

El desarrollo de innovación tecnológica en una región es importante para disminuir costos de producción, eficientizar los recursos naturales (suelo, agua y vegetación) y sobre todo la implementación de tecnología apropiada para la zona (Turrent y Cortés, 2005). El rescate de los maíces locales, capacitación de los productores hacia tecnologías amigables con el ambiente, como la inoculación de microorganismos y micronutrientes a la semilla de maíz, para que tengan una mayor capacidad de absorción de nutrientes a través del sistema radicular. El uso de feromonas o atrayentes para el control de plagas, así como los entomopatógenos y métodos culturales para no utilizar productos químicos. Sin embargo, esto se complica porque el agroecosistema se encuentra desequilibrado por la gran cantidad de productos químicos que se utiliza y genera resistencia de plagas y enfermedades.

A nivel global se ha proyectado que para el 2030 la biotecnología tendrá un auge bastante grande, porque hará uso de los materiales genéticos, cultivo de tejidos e incorporará genes a las plantas; sin embargo, en México está prohibido el uso de maíces transgénicos de uso comercial, porque México es el centro de origen del maíz.

### **Escenarios del agroecosistema maíz con tres formas de manejo**

Los escenarios son visiones o descripciones de posibles situaciones que pueden ocurrir en el futuro, estos escenarios son exploratorios, se basan en posibilidades y no en deseos o preferencias por parte de los investigadores o de un grupo de informantes (Ibañez *et al.*, 2012). Estos escenarios fueron construidos con información global, nacional, estatal y así como investigaciones locales sobre los recursos naturales,

eficiencia energética, eficiencia económica y aspectos sociales sobre el agroecosistema maíz. Además, estos escenarios no son excluyentes. Los tres escenarios, cueste lo que cueste, siempre verde y cuesta menos se describen a continuación, tienen una visión al 2030:

### **Escenario 1: Cueste lo que cueste**

Al inicio de la década se tiene problemas económicos por las diversas crisis a nivel mundial de salud pública, precios bajos del petróleo y se cuenta con un proceso de recesión económica a nivel nacional. Este factor influye en la forma como la sociedad percibe los riesgos de otras crisis que podrían presentarse en el futuro y de los impactos originados por el cambio climático y variabilidad climática.

El rol del estado en las actividades económicas disminuye y crece el papel del sector privado. En el sector agrícola crece la agricultura por contrato e incrementa la agricultura consumista; es decir, se vuelve más dependiente de energía externa (herbicidas, insecticidas, fertilizantes químicos y fungicidas) y en las zonas planas se incrementa la cosecha mecanizada.

La agricultura es la principal economía de la región; por ello, debe seguir produciendo alimentos y materias primas para su comercialización; sin embargo, este manejo tecnológico incrementará sus costos de producción, porque el suelo necesitará mayor cantidad de insumos agrícolas para producir, debido a su alto grado de degradación, el cuál será imposible producir sin ayuda de energía externa.

Al final de la década se encontrará más fragmentada el sector social desde el punto de vista tecnológico, porque los minifundistas serán más pobres por el poco apoyo del gobierno y no serán competitivos a niveles comerciales. La frontera agrícola se incrementará, afectando los recursos naturales y ocupando las mejores tierras, para tener mayores excedentes comerciales. Además, se consolida la agricultura industrial orientada al mercado con gran cantidad de insumos y contaminado las aguas, suelo, aire y sobre todo los seres humanos.

### **Escenario 2: Siempre verde**

Para este sector de la población la crisis es demasiada alta, porque la gran mayoría depende directamente de las actividades del campo y muestran una actitud conservadora como sociedad. Se fortalecen aspectos sociales y forman grupos de trabajo para consolidar el trabajo comunitario. Además, existe un optimismo con los apoyos que van directos al campo; sin embargo, perciben riesgos futuros, otras posibles causas y la variabilidad climática tiene mayor impacto en este sector, al encontrarse en zonas vulnerables de los desastres naturales.

El enfoque agroecológico persiste por realizar prácticas de conservación y mejoramiento del suelo, al ser capacitados por agentes de las reservas naturales en donde se encuentran ubicadas las parcelas de producción. Además, no utilizan grandes cantidades de insumos industriales y utilizan prácticas milenarias como los policultivos, rotación de cultivos y labranza de conservación. Por ello, conservan más el suelo para producción y tratan de reciclar de manera activa los residuos de cosecha. Se promueve una agricultura con estabilidad, resiliencia y la sustentabilidad. Es difícil que esta agricultura compita con el mercado global, pero aprovecha una demanda de productos agroecológicos. El mercado doméstico es importante sobre todo cuando el estado adopte el concepto de soberanía alimentaria.

La gestión de los recursos naturales puede ser alterado mínimamente, porque se encuentran ubicados en las zonas de amortiguamiento de reservas naturales federales. Sin embargo, carecen de otras fuentes de empleo durante los meses que no realizan actividades agrícolas, temporalmente viajan a las ciudades para trabajar de jornaleros.

Al finalizar la década se visualiza una agricultura a pequeña escala, familiar y con características de campesino de bajos insumos industriales, nivel tecnológico bajo y sustentado en el conocimiento tradicional, muchas veces ocupando tierras marginales, con pocos excedentes comerciales, tratando de lograr la sustentabilidad del agroecosistema en el tiempo.

### **Escenario 3. Cuesta menos**

La crisis es más difícil para este sector de la población, porque emplean técnicas industriales, hacen uso de grandes cantidades de insumos agrícolas, los cuales están regidos por el precio del petróleo, perjudicando su economía a corto y mediano plazo. Desde el punto de vista ambiental, realizan prácticas de conservación del suelo; sin embargo, muchos productores tienen que rentar las unidades de producción y cuando el costo de producción es muy alto, abandonan las tierras y/o hacen cambio de uso del suelo.

La gran mayoría de los productores ven con optimismo, pero con cambios hacia una agricultura más ecológica, sin la utilización de muchos agroquímicos, porque la población cuestiona los altos insumos, el uso del agua, energía y por constituir una amenaza para los suelos y la biodiversidad. La pobreza es un problema serio, porque es complejo y los productores desconfían de los apoyos que el gobierno les ofrece de manera aislada.

Al final de la década se mejorará significativamente la gestión de los recursos naturales y se logra una competitividad de las actividades agrícolas comerciales. Persiste una agricultura a pequeña escala, familiar y comercial orientada a la venta del producto. Lo principal es un uso bajo de insumos industriales y la protección de los recursos naturales. Además, cuentan con ganado de doble propósito, sirviendo como entrada económica para la familia.

## **CONCLUSIONES**

Se diseñaron tres escenarios cueste lo que cueste, siempre verde y cuesta menos, la diferencia radica en la cantidad de energía utilizada, la gestión de los recursos naturales y el manejo de ganado vacuno como alternativa productiva. Al finalizar el horizonte del escenario siempre verde estará más fortalecido, por tener una buena filosofía en la conservación de los recursos naturales y socialmente organizados en pequeñas cooperativas para la comercialización de sus productos agroecológicos. Comparado con los otros escenarios, que la filosofía radica en producir sin conservar.

El cambio climático y la variabilidad climática tienen gran impacto en el agroecosistema maíz, a través de los fenómenos extremos que suceden con mayor frecuencia en la franja tropical del mundo y afectan directamente con sequías, inundaciones, olas de calor e incendios forestales a la productividad del agroecosistema maíz.

## **LITERATURA CITADA**

- Aguilar, J. C. E.; Morales, C. J. A.; Galdámez, G. J.; Gutiérrez, M. A. y Martínez, A. F. B. 2017. Prácticas agroecológicas para la agricultura sostenible en la Depresión Central de Chiapas. Editorial Universidad Autónoma de Chiapas. ISBN: 978-607-8459-92-6. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 71 p.
- Aguilar, J. C. E.; Tolón, B. A.; J. Galdámez, A. Gutiérrez M.; S. Mendoza P.; F. B. Martínez A. 2008. La producción sostenible de maíz en la selva de Chiapas. II Seminario de Cooperación y desarrollo en espacio rurales Iberoamericanos. Sostenibilidad e indicadores. Universidad de Almería, España. Pp. 45-60.
- Altieri, M. A y Toledo, V. M. 2011. The agroecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants. *The Journal of Peasant Studies* 38: 587-612. DOI: 10.1080/03066150.2011.582947
- Casanova-Pérez L, Martínez-Dávila J.P., López-Ortiz S., y Rosales-Martínez V. 2019. Mercantilización del maíz en un contexto político y de cambio climático en el trópico subhúmedo mexicano. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, Colombia, 16(83). DOI: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr16-83.mmcp>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2011. Agricultura cambio climático: instituciones, políticas e innovación. CEPAL. Santiago de Chile, Chile. 120 p.

- Chambers, R. (1993): Challenging the professions. Frontiers for rural development. IT Publications, London. CONAMA. 2014. Mitigación y adaptación en el sector agrario. Fundación Global Nature. Santiago, Chile. 90 p.
- Delgado-Ruiz, F., Guevara-Hernández F., Acosta-Roca R. 2018. Farmers' criteria for maize (*Zea mays* L.) selection in Villaflores and Villa Corzo, Chiapas, Mexico. *Ciencia UAT*. 13(1): 123-134 (Jul- Dic 2018). ISSN electrónico 2007-7521. Conacyt. WOS (Thompson Reuters). <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i1>.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2019. Panorama agroalimentario. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y sectorial.
- Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC). 2011. Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático. ISBN: 978-92-9169-331-3. Nueva York, Estados Unidos de América. 240 p.
- Guajardo, P.R.A., Granado, R. G. R., Sánchez, C.I., Barradas, V.L., Gómez, R. J.C. y Díaz, P.G. 2018. Rendimientos de maíz (*Zea mays* L.) en escenarios de cambio climático en la región de la antigua, Veracruz, México. *Revista Agrociencia* 52: 725-739.
- Guevara-Hernández, F. (2007): “¿Y después qué?: Action-research and ethnography on governance, actors and development in Southern Mexico”. Technology and Agrarian Development Group. Department of Social Sciences. Wageningen University and Research Centre. Wageningen, The Netherlands. 223 p.
- Guevara-Hernández, F. 2017. Propuesta metodológica para el estudio de actores y estrategias de intervención tecnológica en Chiapas, México. *Cultivos Tropicales*. 38(2): 103-112.
- Guevara-Hernández, F., Rodríguez-Larramendi L.A., Díaz-José J., Pinto-Ruiz R., Ley de Coss A. y Raj-Aryal D. 2018. Actores y estrategias de la innovación tecnológica en la producción de maíz en Chiapas, México. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 35(2): 223-247
- Jiménez, N. S., Castro L., Yépez J., y Wittmer C. 2011. Impacto del cambio climático en la agricultura de subsistencia en el Ecuador. CeALCI- Fundación Carolina. Madrid, España. 95 p.
- Hagmann, J. 1999. Learning together for change: facilitating innovation in natural resource management through learning process approaches in rural livelihoods in Zimbabwe. Margraf Verlag. Weikersheim, Germany. 310 p.
- Hazell, P. y Pachauri, R. K. 2009. Bionergía y agricultura: promesas y retos. Enfoque 14. International food policy Research Institute. Washington, D.C. 12 p.
- Ibañez, N.; Castillo, R.; Medina, M. 2012. Construcción de escenarios prospectivos para la toma de decisiones. Caso: Cooperativa de Trámites Oficiales, R.L. *Negotium*, vol. 8, núm. 22, Fundación Miguel Unamuno y Jugo Maracaibo, Venezuela. Pp. 34-52.

- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2012. Anuario estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 2011 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI. México, D.F. 155 p.
- López, B. W., R. Reynoso S., B. Villar S., R. Camas G. y J. O. García S. 2019. Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Volumen 10 (4): 897-910. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>.
- López, B. W., R. Reynoso S., B. Villar S., R. Camas G. y J. O. García S. 2018. Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la región Frailesca, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Volumen 9 (1). Texcoco, Estado de México. Pp. 897-910.
- López, F. A. J., y Hernández C. D. 2015. Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *Revista EL TRIMESTRE ECONÓMICO*, vol. LXXXIII (4), núm. 332. Ciudad de México, México. pp. 459-496. DOI: <http://dx.doi.org/10.20430/ete.v83i332.231>
- López, F. A. J. 2015. Cambio climático y actividades agropecuarias en América Latina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago de Chile, Chile. 76 p.
- Magaña, G. A. L. 2014. Evaluación integral de los impactos de la variabilidad y el cambio climático en la agricultura de maíz en el estado de Michoacán, Tesis de Maestría en Administración Integral del Ambiente, El Colegio de la Frontera Norte A.C. Tijuana, B. C., México. 179 p.
- Martínez, F.B.; Guevara, F.; Aguilar, C.E.; Pinto, R.; La O, M.A.; Rodríguez, L.A. y Aryal, D.R. 2020. Energy and economic efficiency of maize agroecosystem under three management strategies in the Frailesca, Chiapas (Mexico). *Agriculture* 10 (3) 81. <https://doi.org/10.3390/agriculture10030081>
- Martínez, F.B.; Guevara, F.; Aguilar, C.E.; Pinto, R.; La O, M.A.; Rodríguez, L.A. 2020a. Caracterización de productores de maíz e indicadores de sustentabilidad en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* volumen 11. número 5. 30 de junio - 13 de agosto. Pp. 1031-1042.
- Martínez, F.B.; Guevara, F.; Aguilar, C.E.; Pinto, R.; La O, M.A.; Rodríguez, L.A. 2020b. Sustentabilidad del Agroecosistema maíz (*Zea mays* L.) en la región Frailesca, Chiapas. México. *Revista sustainability*.
- Martínez, F.B.; Guevara, F.; Aguilar, C.E.; Reyes, S. M.B.; La O, M.A.; Rodríguez, L.A. 2020c. Caracterización físico-química y biológica del suelo cultivado con maíz en sistemas convencional, agroecológico y mixto en la Frailesca, Chiapas. *Revista Terra Latinoamericana*.
- Martínez, F.B.; Guevara, F.; Aguilar, C.E.; Pinto, R.; La O, M.A.; Rodríguez, L.A. 2021. "Tipificación socio-agronómica y energética de productores de maíz en la región

- Frailesca, Chiapas, México". Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia en su Volumen 38, número 1.
- Miklos, T. y Arroyo, M. 2008. Prospectiva y escenarios para el cambio social. Working papers 8.
- Munguía-Aldama, J.; Sánchez-Plata, F.; Vizcarra-Bordi, I.; y Rivas-Guevara, M. 2015. Estrategias para la producción de maíz frente a los impactos del cambio climático. Revista de Ciencias Sociales (Ve), vol. XXI, núm. 4. Maracaibo, Venezuela. pp. 538-547.
- Nelson, C. G., Rosegrant, W. M., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte-Santos, R., Ewing, M., y Lee, D. 2009. Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI. Washington, D.C. 30 p.
- Ocampo, O. 2011. El cambio climático y su impacto en el agro. Revista de ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá D.C., Colombia. pp. 115-123.
- Ocaña, J.M.J. 2015. Estudio socioeconómico y ambiental del uso y manejo del rastrojo en los sistemas maíz-ganadería en la región Frailesca, Chiapas. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 110 p. 7.
- Orozco, B. H., Hernández, V. M., García, J. G. y Suárez, G. G. 2019. Cambio climático: Una percepción de los productores de maíz de temporal en el estado de Tlaxcala, México. Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Vol. 10, Núm. 19. 24p. DOI: <https://doi.org/10.23913/ciba.v8i16.89>
- Puentes, R. 2009. Tres Escenarios 2020 para la Agricultura en América Latina y el Caribe. FONTAGRO. 111 p.
- Pinilla, H. M. C., Sánchez, J., Rueda A. y Pinzón, C. 2012. Variabilidad climática y cambio climático: Percepciones y procesos de adaptación espontánea entre campesinos del centro de Santander, Colombia. Asociación Española de Climatología. 917-927.
- Rodríguez, L. L. y Guevara, H. F. 2009. Innovación y Desarrollo Rural: Reflexiones y experiencias desde el contexto cubano. 1a edición (Versión Digital). ACSUR-Las Segovias/IIA Jorge Dimitrov. Madrid, España. 174 p.
- Ruiz, C. J. A. 2012. Adaptar la agricultura con el cambio climático. Revista CIENCIA. Ciudad de México, México. pp. 76-83.
- Sánchez, M., P. y O. Romero, A. 2017. Combustibles fósiles y CO<sub>2</sub> en sistemas de milpa tradicional y maíz en monocultivo en Tlaxcala, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 4(8): 919-932.
- Serrano-Berthet, R., y Lenihan M. 2013. Las dimensiones sociales del cambio climático en México. Banco Mundial. Washington, DC. USA. 74 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2016. Variabilidad y cambio climático. Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en

- América Latina y el Caribe. Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático. Ciudad de México, México. 144 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2017. Maíz grano blanco y Amarillo Mexicano. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Ciudad de México. 36 p.
- Servicio de Información agroalimentaria y pesquera (SIAP). 2019. Atlas agroalimentario Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Ciudad de México. <http://www.siap.gob.mx/>
- Sonder, K. 2018. Escenarios de futuro cambio climático en la producción de maíz en América Latina. MasAgro. 49 p.
- Tapia, G. 2016. Sobre los métodos para construir escenarios prospectivos. XXXVI jornadas Nacionales de Administración Financiera. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. Pp. 262-278.
- Turrent, F. A. y Cortés, F. J. 2005. Ciencias y tecnología en la agricultura mexicana: I. Producción y Sostenibilidad. Terra Latinoamericana Vol. 23, Número 2. Pp. 265-272.
- Viguera B., Martínez-Rodríguez M. R., Donatti C. I., Harvey C. A., y Alpízar, F. 2017. Impactos del cambio climático en la agricultura de Centroamérica, estrategias de mitigación y adaptación. Conservación Internacional (CI). Turrialba, Costa Rica. 50 p.

## 4.7 Discusión final

La región Frailesca se ha caracterizado por ser la mayor productora de maíz del estado de Chiapas; sin embargo, en los últimos años ha sido cuestionada por los impactos negativos tanto socioeconómicos como ambientales que ha generado el excesivo uso de insumos. Esto se traduce en una mayor cantidad de energía externa empleada en el proceso de producción del maíz. Ante esto, el objetivo de la investigación fue evaluar la sustentabilidad del agroecosistema maíz a través de las dimensiones ambiental, económica y social, prevalecientes en la Frailesca. La evaluación de la sustentabilidad demostró que la forma de manejo agroecológica es la más sustentable, ya que cubrió el 83% de los indicadores óptimos de las dimensiones evaluadas; mientras que la convencional y mixta abarcaron el 71.69% y 78.69% respectivamente de acuerdo con la metodología MESMIS.

Estos resultados obedecen a que en la forma agroecológica, se emplean prácticas sustentables como el manejo de policultivos, la rotación de cultivos, uso de semillas locales y la labranza de conservación. Por ello, se acepta la hipótesis general relacionada con que el agroecosistema maíz es sustentable, si se analiza en sus dimensiones ambiental, económica y social en la región Frailesca. No obstante, dicha sustentabilidad es variable en función de la forma de manejo que se le da al cultivo. La forma agroecológica es la más sustentable al obtener mayores indicadores óptimos. Los resultados coinciden con Sánchez *et al.* (2014) quienes encontraron que el agroecosistema maíz bajo el uso de prácticas agroecológicas fue más sustentable que el convencional. Dichas prácticas fueron la conservación del suelo y el uso mínimo de agroquímicos, lo que favoreció al suelo. Asimismo, Aguilar *et al.* (2011) reportaron que al incorporar prácticas agroecológicas al agroecosistema maíz resultó ser más sustentable en el mediano y largo plazo porque se conservaron y mejoraron los indicadores de sustentabilidad del suelo.

Con respecto a la tipificación de los productores de maíz, se identificaron seis grupos de agricultores sobre la base de 11 componentes principales que explican el 73% de la variabilidad total. Esto significa que dichos grupos presentan características socioeconómicas y ecológicas diferentes; sin embargo, con base en los indicadores de uso de energía en la producción, todos los grupos encontrados son energéticamente eficientes, lo que se asocia directamente con la eficiencia productiva y económica del agroecosistema. Es decir, en los rendimientos obtenidos y los ingresos por la venta del producto o subproductos del agroecosistema. Además, todos los grupos identificados comparten la variable de superficies pequeñas para la siembra de maíz. La heterogeneidad que existe en la tecnología utilizada por el productor se debe a las condiciones biofísicas, socioeconómicas y tecnológicas de sus unidades de

producción. Por lo que la hipótesis relacionada con la existencia de grupos diferentes de productores de maíz en la región de estudio, se acepta. Esto concuerda con lo reportado por Ocaña (2015), quien identificó grupos de productores similares a los aquí reportados respecto a los indicadores energéticos y económicos. Así mismo, Delgado (2017) encontró diferencias desde el punto de vista energético y económico entre los grupos de productores que usan tecnologías convencionales y los que practican la agricultura de conservación en la región. En ese sentido, Purroy *et al.* (2016) indican que la clasificación energética de productores permite establecer un plan de manejo para incrementar la sustentabilidad. Además, el análisis de correspondencia múltiple permitió identificar a través de las tipologías, las variantes tecnológicas que se practican en la región como son la convencional, agroecológica y mixta.

Con relación a la caracterización del agroecosistema, desde el punto de vista energético, económico y de las características físicas, químicas y biológicas del suelo en las tres formas de manejo encontradas (convencional, agroecológica y mixta), fue diferenciada. En ese sentido, se encontró que la eficiencia energética (Energía producida/Energía consumida) para la forma de manejo mixta fue de 6.47, 4.65 para la agroecológica y 6.04 para la convencional. Lo mismo sucede en el uso de insumos y suministros de origen industrial, donde el manejo convencional se caracterizó por el uso intensivo de herbicidas, insecticidas, fertilizantes y fungicidas; desde el tratamiento de semillas hasta el crecimiento y desarrollo del maíz. Para el caso agroecológico, se usa insecticida para el tratamiento de semillas antes de la siembra. En el manejo mixto, hace uso de herbicidas, fertilizantes e insecticidas, pero en menor intensidad comparado con el convencional.

Estos resultados no concuerdan desde el punto de vista energético con los encontrados por Guevara *et al.* (2018) para la región de estudio, ya que reportan valores superiores para el caso del sistema convencional con 9.27 MJ producidos por cada unidad de energía consumida, comparado con el manejo de agricultura de conservación con 9.08. Sin embargo, la mayor cantidad de energía externa hacia un agroecosistema no siempre lo hace más eficiente energéticamente. Así lo menciona Purroy *et al.* (2019), quienes señalan que, a mayor uso de energía externa en los agroecosistemas, aplica la ley de los rendimientos decrecientes. Esto significa que al aplicar mayor energía externa al agroecosistema no siempre se obtendrán mayores rendimientos, porque el sistema tiene su punto máximo de producción y en su caso, solo representaría un uso excesivo de energía en el agroecosistema, lo que automáticamente incrementa el costo de producción y mayor contaminación ambiental. En este sentido, se explica el por qué el manejo convencional fue menor en eficiencia energética comparado con la forma de manejo mixta.

Desde el punto de vista económico, las formas de manejo que obtuvieron una mejor relación beneficio-costo fueron la convencional y la agroecológica con 1.56 pesos, mientras que en la mixta fue de 1.49 pesos. Esta similitud entre las formas convencional y la agroecológica se debe a los bajos costos de producción en la agroecológica, sin importar que en la forma convencional el rendimiento es mayor. Estos resultados coinciden con Delgado (2017) al encontrar valores de relación beneficio-costo entre 1.4 a 1.6 pesos, en un estudio entre el manejo convencional y de conservación.

Por otro lado, estudiar la calidad del suelo es fundamental para conocer las condiciones que este presenta. Para ello, se determinaron las características físicas, químicas y biológicas de parcelas con las tres formas de manejo. Desde el punto de vista biológico, el manejo agroecológico obtuvo mejores resultados respecto a la macrofauna, ya que presentó mayor riqueza de especies y la proporción de individuos por especie de acuerdo al índice de Shannon y Weaver ( $H' = 1.121$ ). En ese sentido, destacan los órdenes: coleóptera, anélida, himenóptera, Isóptera y gasterópoda. Así mismo, para el caso de presencia de microorganismos sobresale la diversidad de microorganismos en las parcelas agroecológicas ( $H' = 1.121$ ) donde se encontraron entomopatógenos (*Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*), fijadores de Nitrógeno (*Rhizobium*, *Azotobacter* y *Azospirillum*) y hongos patógenos (*Rizhooctonia*, *Fusarium* y *Alternaría*). Estos resultados se asocian a un contenido mayor de materia orgánica en el suelo (3.5%) en dichas parcelas; lo cual se debe a la implementación de prácticas agroecológicas por parte de los productores.

Desde el punto de vista químico, el suelo se encuentra moderadamente ácido con un pH de 5.05, 5.25 y 5.24 para el manejo agroecológico, convencional y mixto respectivamente. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue baja en las tres formas de manejo (12.54 (convencional), 13.96 (agroecológica) y 14.95 (mixta) Cmol (+) kg<sup>-1</sup>). Los indicadores evaluados permiten evidenciar que los suelos presentan degradación en las tres formas de manejo. Esto se atribuye a los años de manejo de las parcelas y al poco uso de prácticas agronómicas que permiten mejorar y conservar el suelo. En ese sentido, se requiere implementar prácticas de agricultura sustentable que permitan mejorar la calidad del suelo. Por ello, se acepta la hipótesis específica que indica que los suelos son diferentes; sin embargo, presenta una degradación generalizada. Estos resultados son similares a los reportados por López *et al.* (2018) y López *et al.* (2019) quienes caracterizaron físico-químicamente los suelos y concluyeron que la degradación es generalizada en la región de estudio.

Con la intención de identificar escenarios posibles con criterios de sustentabilidad para el agroecosistema maíz en la región, a partir de los resultados obtenidos en esta

investigación, se proponen tres rutas posibles: a) cueste lo que cueste, b) siempre verde, y c) cuesta menos. Estos se proyectan con un horizonte al 2030 y describen los sucesos posibles en el futuro; además, permiten conocer la situación que guardaría en el tiempo el agroecosistema. Los tres escenarios se sustentan en enfoques o visiones de producción diferentes. Uno orientado en la intensificación y el uso indiscriminado de productos químicos; otro en conservar el ambiente y los recursos naturales con que cuenta el productor y el intermedio, en el cual se hace uso de prácticas de los otros dos enfoques pero que se diferencia por la inclusión de la ganadería como alternativa económico-productiva. Por lo tanto, se acepta la hipótesis específica respecto a que los escenarios permiten visualizar una trayectoria futura del agroecosistema bajo las formas de manejo que prevalecen en la región.

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos, preguntas de investigación e hipótesis planteadas, así como los resultados encontrados en la presente investigación se concluye:

1. Se evaluó la sustentabilidad del agroecosistema maíz a través de las dimensiones ambiental, económica y social, en la región Frailesca. Lo más relevante de la evaluación fue que la forma de manejo agroecológica presenta una condición de mayor sustentabilidad que las otras formas, debido a que los productores implementan prácticas de conservación y mejoramiento del suelo, así como una reducida cantidad de productos químicos. La metodología utilizada permitió llevar a cabo un análisis sistémico de los indicadores evaluados.

2. Se tipificaron los productores de maíz bajo criterios de sustentabilidad y se comprobó la existencia de seis diferentes grupos productivos, los cuales son todos energéticamente eficientes a pesar de presentar en general formas diferenciadas de manejo de su agroecosistema: convencional, agroecológica y mixta.

3. Se caracterizó al agroecosistema maíz desde el punto de vista energético y económico bajo las formas de manejo identificadas: convencional, agroecológica y mixta. Se encontró que la forma de manejo convencional es eficiente energética y económicamente. Además de que se sustenta en el uso intensivo de herbicidas, insecticidas, fertilizantes y fungicidas, desde el tratamiento de semillas hasta el crecimiento y desarrollo del cultivo. En el manejo agroecológico, los insecticidas solo se usan para el tratamiento de semillas antes de la siembra. En el manejo mixto, los herbicidas se usan en mayores cantidades e implementa prácticas de conservación de suelo.

4. Se analizó la calidad del suelo a través de las propiedades físicas, químicas y biológicas bajo las tres formas de manejo: convencional, agroecológica y mixta, y se observó una degradación generalizada desde el punto de vista físico y químico en las tres formas de manejo. Desde el punto de vista biológico, se encontró que la forma de manejo agroecológica presentó mayor diversidad y abundancia de micro y macroorganismos en el suelo. Esto obedece a la implementación de prácticas de conservación del suelo, al uso de policultivos que ayudan a la incorporación de residuos de cosecha y que promueven la vida en el suelo.

5. Se identificaron tres escenarios posibles a partir de los criterios de sustentabilidad evaluados, que permitirán definir una propuesta estratégica para la atención del agroecosistema maíz en la región Frailesca. Asimismo, los tres se diferencian por el

enfoque tecnológico con el que se orienta la producción. Así, uno presenta como filosofía la conservación de los recursos naturales, otro se centra en el uso intensivo de agroquímicos y el tercero complementa el cultivo de maíz con el ganado vacuno como alternativa productiva.

## 6. LITERATURA CITADA

- Aduriz, M. A., Gargano, A. O., Chimeno, P., Saldungaray, M. C., y Conti, V. P. 2003. Caracterización de los agrosistemas predominantes de la cuenca alta del río Sauce Grande. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias, vol 32, no.3. Pp 3-25.
- Aguilar, E. C. 2014. Los nuevos escenarios rurales: de la agricultura a la multifuncionalidad. Endoxa, vol. 33. Pp 73-98.
- Aguilar, J. C. E.; Tolón, B. A.; J. Galdámez, A. Gutiérrez M.; S. Mendoza P.; F. B. Martínez A. 2008. La producción sostenible de maíz en la selva de Chiapas. II Seminario de Cooperación y desarrollo en espacio rurales Iberoamericanos. Sostenibilidad e indicadores. Universidad de Almería, España. Pp. 45-60.
- Aguilar, J. C. E.; Tolón, B. A y Lastra, B. X. 2011. Evaluación integrada de la sostenibilidad ambiental, económica y social del cultivo de maíz en Chiapas, México. Rev. FCA UNCUYO. ISSN 0370-4661. Tomo 43. N° 1. Año 2011. Buenos Aires, Argentina. Pp. 155-174.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación. Revista Ecosistemas 16 (1)- Pp. 3-12.
- Altieri, M. A. y Toledo, V. M. 2011. The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. Teh journal of peasant studies. ISSN 0306-6150 print/ISSN 1743-9361 online. Vol. 38. No. 3. Pp. 587-612. DOI: 10.1080/03066150.2011.582947.
- Altieri, M. A. 1987. The scientific basis of alternative agriculture. Boulder, CO, USA: Westview press, Inc. Pp. 30-55.
- Altieri, M. A. 1983. Agroecología: Bases científicas de la agricultura alternativa. CETAL. Chile. 184 p.
- Altieri, M. A. 1992. Biodiversidad, agroecología y manejo de plagas. Edit. CETAL. División de control biológico. Universidad de California, Berkeley. Binghamton, New York. 153 p.
- Andersen, P. S. Vejre, H. Dalgaard, T y Brandt, J. 2013. An Indicator based Method for Quantifying Farm Multifunctionality. *Ecological Indicators*. 25: Pp. 166-179.
- Astier, M., Speelman, E. N., López-Ridaura, S. Masera, O. R. & Gonzalez-Esquivel, C. E. (2011): Sustainability indicators, alternative strategies and trade-offs in peasant agroecosystems: analysing 15 case studies from Latin America, *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9:3. Pp. 409-422 <http://dx.doi.org/10.1080/14735903.2011.583481>
- Astier, M. y Hollands, J. 2005. Sustentabilidad y campesinado: seis experiencias agroecológicas en Latinoamérica. Mundi-Prensa México. 262 p.
- Astier, M.; Masera, O. y Galván-Miyoshi, Y. 2008. Evaluación de la sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional.

- SEA/CIGA/ECOSUR/CIEco/UNAM/GIRA/Mundiprensa/Fundación Instituto de agricultura ecológica y sustentable, España. Bonifaió, Valencia, España. 200 p.
- Astier, C. M., Maass, M. M. y Etchevers, B. J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Revista Agrociencia*. Vol. 36. No. 5. Texcoco, Estado de México 17 p.
- Bolaños, O. 1999. Caracterización y tipificación de organizaciones de productores y productoras. In Unidad de planificación estratégica. Ministerio de agricultura y ganadería. XI Congreso Nacional Agronómico/I Congreso Nacional de Extensión. Costa Rica. p. 9.
- Bravo, B. M., Vélez, I. A. y Ramos, G. J. L. 2018. Tipología y diferenciación de productores de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Calvillo, Aguascalientes, México. *Región y sociedad*. Núm. 1. El Colegio de Sonora. Hermosillo, México. Pp. 1-22.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 2012. Manual de determinación de rendimiento. Edición: Modernización Sustentable de la agricultura Tradicional. México, D.F. 42 p.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Un manual metodológico de evaluación económica. ISBN: 968-6127-24-0. México, D.F. 86 p.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 1985. Agroecosistemas: Conceptos básicos. Vol. III. Costa Rica. 158 p.
- Cervantes, O. A. 2016. Transformación agroecológica en el cantón de Mora en Costa Rica y emigración indígena huetar (1900-1955). *Revista de Historia*, (74) 116. DOI:<http://dx.doi.org/10.15359/rh.74.6>.
- Cisneros, S. P. 2016. Corrientes epistemológicas del concepto sustentabilidad y su aplicación en las ciencias agropecuarias: aportación teórica que discute conceptos clave de la EAS. 1er. Congreso Nacional de educación ambiental para la sustentabilidad. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Chambers, R. 1993. *Challenging the professions. Frontiers for rural development*. IT Publications, London.
- Conill, Y. L.; Hernández V.J.; Chumaceiro, H. J. 2011. Planificación de escenarios una herramienta estratégica para el análisis del entorno. *Revista Venezolana de Gerencia*. Vol. 16. Núm. 54. Abril-Junio 2011. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. Pp. 274-290.
- Conway, G. R. 1990. The properties of agroecosystems. *Agric. Systems*. pp: 24: 95-117.
- Coronel de Renolfi, M., y Ortuño Pérez, S. F. 2005. Tipificación de los sistemas productivos agropecuarios en el área de riego de Santiago del Estero, Argentina. *Problemas del desarrollo*, vol. 36, no. 140, pp. 64-88.

- Cruz, C. G. N., y Jaramillo, B. C. I. 2016. Caracterización y tipificación de sistemas de producción orgánica en la región del Sumapaz. p. 80.
- Cortes, M. H. G. y Peña, R. J. I. 2015. De la sostenibilidad a la sustentabilidad. Modelo de desarrollo sustentable para su implementación en políticas y proyectos. Revista Escuela de Administración de Negocios. No. 78. Bogotá, Colombia. Pp. 40-55. DOI: 10.21158/01208160.n78.2015.1189.
- Delgado, R. F. 2017. Evaluación energética y económica del sistema de producción de maíz (*Zea mays* L.) bajo prácticas convencionales y de conservación en la región Frailesca. Tesis de Maestría. Facultad Ciencias Agronómicas de la Universidad Autónoma de Chiapas. Villaflores, Chiapas. México. 83 p.
- De la Rosa, N. I y Negrete, Y. S. 2012. Distribución espacial de la macrofauna edáfica en bosque mesófilo, bosque secundario y pastizal en la reserva La Cortadura, Coatepec, Veracruz, México. Revista Mexicana de Biodiversidad. 83. Pp. 201-215.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2002. Norma oficial mexicana: fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D.F. Pp. 22-35.
- Edwards, C. 1993. "The role of agroecology and integrated farming systems in agricultural sustainability", en *Agriculture, Ecosystems and Environment*, núm. 46.
- Escobar, G. y Berdegué, J. A. 1990. Conceptos y metodología para la tipificación de sistemas de finca. In: Escobar, G. and Berdegué, J.A. (Eds.). Tipificación de Sistemas de Producción Agrícola. RIMISP, Santiago. Pp. 2-40
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2017. Panorama agroalimentario. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y sectorial. Pp. 5-30.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2019. Sistema de costos agrícolas. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y sectorial. <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/TemasUsuario.jsp>.
- Funes, M.F, 2009. Agricultura con futuro, la alternativa agroecológica para cuba. Estación Experimental Indio Hatuey, Universidad de Matanzas. 176 p.
- García-Rojas, J. P. 2015. Desarrollo sostenible: origen, evolución y enfoques. (Documento de docencia No. 3). Bogotá: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/greylit.1074>.
- García, F. C., González-Ávila, S., y Elena-Rosselló, R. 2008. Metodología para la tipificación y caracterización estructural de paisajes en comarcas forestales españolas. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, vol.17, no. 2. Pp 130-142.
- García-Barríos L., Speelman E.N., Pimm M.S. 2007. An educational simulation tool for negotiating sustainable natural resource management strategies among stakeholders with conflicting interests. Ecological Modelling. 10.1016/j.ecolmodel.2007.07.009.

- Geilfus, F. 1997. 80 herramientas para el desarrollo participativo. Diagnóstico, Planificación Monitoreo y Evaluación. San José, C.R.: IICA. 217 p.
- Gliessman, S. R., Rosado, M. F. J., Guadarrama, Z. C., Jedlicka, J., Cohn, A., Méndez, V. E., Cohen, R., Trujillo, L., Bacon, C. y Jaffe, R. 2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Revista ecosistemas*. 16 (1). Pp. 13-23.
- Gliessman, S. R. 2002. Agroecología procesos ecológicos en la agricultura sostenible. CATIE. Turrialba, Costa Rica. Pp. 3-16.
- Gliessman, S. R. 1993. "Agroecología en América Latina: Experiencias con la investigación de las bases ecológicas de la sostenibilidad en los agroecosistemas de México". *In*: Ferrara, C. R. y Quintero, L. R. (Editores). agroecología, sostenibilidad y educación. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas Montecillo, Estado de México, México. Pp: 1-7.
- Gordillo, G. 2018. Análisis de los escenarios y políticas actuales para el campo mexicano. Fundación Friedrich Ebert–México. p 16.
- Guevara, H. F., Delgado, R. F., Arias, L. M., Rodríguez, L. L., Ortiz, P.R., Delgado, R. J. A., Venegas, V. J. A. y Pinto, R. R. 2018. Análisis comparativo energético-económico del agroecosistema maíz bajo prácticas convencional y de conservación en la región Frailesca, Chiapas. México. *Revista Facultad Agronómica de la Universidad del Zulia (LUZ)*. 35:343-364. Julio-Septiembre. Caracas, Venezuela.
- Guevara-Hernández, F. 2017. Propuesta metodológica para el estudio de actores y estrategias de intervención tecnológica en Chiapas, México. *Cultivos Tropicales*. 38(2): Pp.103-112.
- Guevara, H. F., Rodríguez, L. L., Arias, L. M., Gómez, C. H., Fonseca, F. M., Pinto, R. R., Ponce, P. I., Jonapá, M. F., Carbonell, C. J., Hernández, L. A., Castillo, F. P. y Ovando, C. J. 2011. Metodología para el desarrollo de Procesos de Innovación Local a través de la Investigación Acción. Serie libros de texto: No.1. Ediciones Dimitrov. Bayamo, Granma. 27 p.
- Guevara, H. F. 2007: "¿Y después qué?: Action-research and ethnography on governance, actors and development in Southern Mexico". Technology and Agrarian Development Group. Department of Social Sciences. Wageningen University and Research Centre. Wageningen, The Netherlands. 223 p.
- Gutiérrez, J.G.; Aguilera, L.I.; González, C.E. 2008. Evaluación de la sustentabilidad por medio de indicadores de una intervención agroecológica en el Subtrópico del Altiplano Central de México. Caracterización diagnóstica y evaluación final. Fase I. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 42, Núm. 1. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. Pp. 27-36.
- Hernández, S., R.; Fernández C., C.; Baptista L., M. del P. 2014. Metodología de la investigación. Editorial Mc Graw Hill, México. Sexta edición. Pp. 4, 36, 78, 93.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2012. Dirección General de Estadísticas Económicas. Estados Unidos Mexicanos. VIII Censo

- Agrícola, Ganadero y Forestal. Panorama agropecuario en Chiapas Censo Agropecuario 2007-2012.
- Instituto de la Potasa y Fósforo (INPOFOS). 1988. Manual de Fertilidad de los suelos. Querétaro, Querétaro. 85 p.
- Jaramillo, S. C. A. 1997. Tipificación de productores y caracterización de la tecnología utilizada en la explotación del cultivo de arroz en el Municipio de Villavicencio, Meta (Doctoral dissertation). p. 187.
- Killion, A. K., K. Sterle, E. Bondank, J. Drabik, A. Bera, S. Alian, K. Goodrich, M. Hale, R. A. Myer, Q. Phung, A. M. Shew, and A. W. Thayer. 2018. Preparing the next generation of sustainability scientists. *Ecology and Society* 23(4):39. <https://doi.org/10.5751/ES-10395-230439>
- Knaggard, A., B. Ness, and D. Harnesk. 2018. Finding an academic space: reflexivity among sustainability researchers. *Ecology and Society* 23(4):20. <https://doi.org/10.5751/ES-10505-230420>
- Kumaraswamy, S. 2012. Sustainability issues in agro-ecology: Socio-ecological perspective. *Agricultural Sciences* 3(2): Pp.153-169.
- López, B. W., R. Reynoso S., B. Villar S., R. Camas G. y J. O. García S. 2019. Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Volumen 10 (4): 897-910. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>.
- López, B. W., R. Reynoso S., B. Villar S., R. Camas G. y J. O. García S. 2018. Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la región Frailesca, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Volumen 9 (1). Texcoco, Estado de México. Pp. 897-910.
- Macías, A. M. 2013. Introducción. Los pequeños productores agrícolas en México. *Carta económica regional*. Pp. 111-112.
- Mariaca, M. R. 1995. "Agroecosistema concepto central de la agroecología: búsqueda del desarrollo de un modelo aplicativo. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas". Programa de agroecosistemas tropicales. Veracruz, Méx. 11 p.
- Mariaca, M. R. 1994. Notas para el curso sobre agroecosistemas: Qué es agricultura. Toluca, Edo. de México. 163 p.
- Marten, G. 1988. Productivity, stability, sustainability, equitativity and autonomy as properties for agroecosystem assessment. *Agricultural system*. 26. Pp. 291-316.
- Martínez-Castro, César Julio; Ríos-Castillo, Maricela; Castillo-Leal, Maricela; Jiménez-Castañeda, Julio César; Cotera-Rivera, Julián. 2015. Sustentabilidad de agroecosistemas en regiones tropicales de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 18, núm. 1, enero-abril Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. Pp. 113-120
- Martínez, M. M. 2011 El paradigma sistémico, la complejidad y la transdisciplinariedad como bases epistémicas de la investigación cualitativa. *Revista Electrónica de*

- Humanidades, Educación y Comunicación Social, vol. 6, núm. 11, pp. 6-27  
Universidad Rafael Beloso Chacín Zulia, Venezuela.
- Masera, O.; Astier, M. y López-Ridaura, S. 2000. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMI. Mundi-Prensa México. 103 p.
- Mendoza, R.B. y Espinosa, A. 2017. Guía técnica para muestreo de suelos. Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services. Managua, Nicaragua. 53 p.
- Meul, M., Nevens F., Reheul D. and Hofman G. 2007. Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 199. Pp. 135-144.
- Miklos, T. y Arroyo, M. 2008. Prospectiva y escenarios para el cambio social. Working papers. P. 8.
- Moreira, F. M. S., Huising, E. J. y Bignell, D. E. 2012. Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. 360 p.
- Mosquera, C. S.; Martínez, M. J.; Guerrero, J. A.; Hansen, E. W. 2010. Caracterización estructural de la materia orgánica de tres suelos provenientes del Municipio de Aquitania-Boyacá, Colombia. *Revista Colombiana de Química*, vol. 39, núm. 1. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Pp. 47-60
- Nastar, M., Boda, C. S. and L. Olsson. 2018. A critical realist inquiry in conducting interdisciplinary research: an analysis of LUCID examples. *Ecology and Society* 23(3):41. <https://doi.org/10.5751/ES-10218-230341>.
- Ocaña, J.M.J. 2015. Estudio socioeconómico y ambiental del uso y manejo del rastrojo en los sistemas maíz-ganadería en la región Frailesca, Chiapas. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 110 p.
- Olsson, L., and B. Ness. 2019. Better balancing the social and natural dimensions in sustainability research. *Ecology and Society* 24 (4):7. <https://doi.org/10.5751/ES-11224-240407>.
- Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación (FAO). 2001. Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural. Boletín de tierras y aguas de la FAO. Roma, Italia. 219 p.
- Organización de la Naciones Unidas para la agricultura y Alimentación (FAO). 2018. El futuro de la alimentación y la agricultura: Vías alternativas hacia el 2050. Versión resumida. Rome. p 64.
- Ortega, R. M., García, M. M., Sanchis, I. C., Pulido, V. M., Girard, C., Marcos, P., Ruiz, R. M. y García, P. A. 2018. Adaptación de la agricultura a escenarios de cambio global. Aplicación de métodos participativos en la cuenca del río Júcar (España). *Economía Agraria y Recursos Naturales*. ISSN: 1578-0732. e-ISSN: 2174-7350. Vol. 18,2. pp. 29-51. **DOI:** <https://doi.org/10.7201/earn.2018.02.02>
- Pengue, A. W. 2014. Cambios y escenarios en la agricultura argentina del Siglo XXI. Buenos Aires: GEPAMA. p 49.

- Puentes; R. 2009. Tres escenarios 2020 para la agricultura en América Latina y el Caribe. Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria en América Latina y el Caribe (FONTAGRO). Pp. 15-50.
- Purroy, V., R., F. Gallardo L., P. Díaz R., E. Ortega J., S. López O. y G. Torres H. 2016. Energetic-economic flow as a tool to typify agroecosystems in the center of the state of Veracruz, Mexico. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 3(7):91-101.
- Purroy, V. R.; Ortega-Vargas, E.; Hernández-Santiago, Q.; Del Ángel-Piña, O.; Meza-Hernández, J.; Reyes-Santiago, B.; Nicolás-Vicente, F. 2019. Maize small-scale agroecosystems in the high Huasteca region of Veracruz: Economic-energetic efficiency and poverty. *Rev. Agric. Soc. Desarro.* 16. Pp.105–121.
- Rigby, D. y Cáceres, D. 2001. "Organic farming and the sustainability of agricultural systems", en *Agricultural Systems*, núm. 68.
- Rivera, H. J. E., Blanco, O. N. V., Alcántara, S. G., Pascal, H. E. y Pérez, S. J. A. 2017. ¿Desarrollo sostenible o sustentable? La controversia de un concepto. *Revista Posgrado y Sociedad. Universidad Estatal a Distancia.* Vol. 15 (1). ISSN: 2215-2172. Pp. 57.67
- Rodríguez, L. L. y F. Guevara H. 2009. *Innovación y Desarrollo Rural: Reflexiones y experiencias desde el contexto cubano.* 1a edición (Versión Digital). ACSUR-Las Segovias/IIA Jorge Dimitrov. Madrid, España. 174 p.
- Rodríguez, P. W.; García, R. P. A. y Fajardo, O. A. 2016. Aplicaciones de técnicas espectroscópicas para el análisis de suelos. *Revista Facultad de Ciencias básicas.* ISSN 1900-4699. Volumen 12. Número 2. Pp. 228-251. DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.2030>
- Ruiz, R. O. 2006. Agroecología: una disciplina que tiende a la transdisciplina. *Revista Interciencia.* Vol. 31. No. 2. ISSN: 0378-1844. Caracas, Venezuela.
- Ruiz, R. O. 1995. Agroecosistema: El término, concepto y su definición bajo el enfoque agroecológico y sistemático. *In: II Seminario Internacional de agroecología.* Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México. 23-31 de marzo. Memoria. Pp: 2-6.
- Sánchez, M. P.; Ocampo, F. I.; Parra, I. F.; Sánchez, E. J.; María, R. A. y Argumedo, M. A. 2014. Evaluación de la sustentabilidad del agroecosistema maíz en la región de Huamantla, Tlaxcala, México. *Agroecología* 9 Pp 111-122.
- Sans, F. X. 2007. La diversidad de los agroecosistemas. *Revista ecosistemas.* 16 (1). Pp. 44-49.
- Santacruz, E. E. 2008. La producción agrícola orgánica en el Soconusco, Chiapas. *Observatorio de la Económica Latinoamericana.* 101 p.
- Santos, Ch. V.M., Zuñiga, E.M., Leos, R.J.A. y Álvarez, M.A. 2014. Tipologías de productores agropecuarios para la orientación de políticas públicas: Aproximación a partir de un estudio de caso en la región Texcoco, Edo. De México. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente.* Vol. 14. Núm. 28. 25 p.

- Sarandón, S. J. y Flores, C. C. 2009. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Revista Agroecología* 4. Pp.19-28. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2019. Atlas agroalimentario Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). <http://www.siap.gob.mx/>
- Scheaffer, R., W., Mendenhall, L. Ott. 2004. Elementos de muestreos. Grupo Editorial Iberoamericana, México. p. 15.
- Shannon, C. and N. Wiever. 1949. The mathematical theory of community.
- Sonder, K. 2018. Escenarios de futuro cambio climático en la producción de maíz en América Latina. *MasAgro*. 49 p.
- Tapia, G. 2016. Sobre los métodos para construir escenarios prospectivos. XXXVI jornadas Nacionales de Administración Financiera. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. Pp. 262-278.
- Thomas, G. W., R. L. Blevins y S. H. Phillips. 1984. No-Tillage in the tropics. p 270-301. Ea R- E. Phillips y S, H. Phillips (eds.)- No-tillage agriculture. Principles and practices. Van Nostrand Reinhold Company. New York.
- Thorén, H., and S. Stalhammar. 2018. Ecosystem services between integration and economics imperialism. *Ecology and Society* 23 (4):44. <https://doi.org/10.5751/ES-10520-230444>
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P.A., Naylor, R. y Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *The journal Nature*. Vol. 418. Pp. 671-677.
- Toledo, M. V. y Castillo, A. 1999. La ecología en Latinoamérica: siete tesis para una ciencia pertinente en una región en crisis. *Revista Interciencia*. Vol. 24. Núm. 3. Pp. 157-168.
- Valerio, C.D., García, M.A., Acero, C.R., Castaldo, A., Perea, J.M. y Martos, P.J. 2004. Metodología para la caracterización y tipificación de sistemas ganaderos. *Producción animal y gestión*. ISSN: 1698-4226. Universidad de Córdoba, España. 9 p.
- Vázquez, M.J. Durán, Z.O. y Baca, M. 2015. Modelos de impacto en la agricultura teniendo en cuenta los escenarios de la agricultura del cambio climático. *Revista Iberoamericana de bioeconomía y cambio climático*. Vol. 1. Núm. 1. 50 p.
- Vega, J. y Muñoz, R. 2014. El manejo del suelo y sus repercusiones en los factores agronómicos y económicos del sistema de producción maíz y frijol en relevo. *Revista Ceiba*, 33(1A). Pp. 128-133.
- Vergara, S. J.C., Fontalvo, H. T. J y Maza, A. F. 2010. La planeación por escenarios: revisión de conceptos y propuestas metodológicas. Publicado en la revista. *Prospect*. Vol. 8. No. 2. Julio-Diciembre 2010. Pp. 21-29.

Vilaboa, A. J., Díaz-Rivera, P., Ruiz-Rosado, O., Platas-Rosado, D. E., González-Muñoz, S., y Juárez-Lagunes, F. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 10 no. 1. Pp. 53-62.