

## **Análisis comparativo energético-económico del agroecosistema maíz bajo prácticas convencionales y de conservación en la región Frailesca, Chiapas, México**

Comparative energy-economic analysis of the maize agroecosystem under conventional and conservation practices in the Frailesca region, Chiapas, Mexico

Análise energético-econômica comparativa do agroecosistema de milho sob práticas convencionais e de conservação em Frailesca região, Chiapas, México

Francisco Guevara-Hernández<sup>1\*</sup>, Fredy Delgado-Ruiz<sup>2</sup>,  
Manuel A. La O-Arias<sup>3</sup>, Luis A. Rodríguez-Larramendi<sup>4</sup>,  
Rodobaldo Ortiz-Pérez<sup>5</sup>, Jorge Á. Delgado-Ruiz<sup>2</sup>,  
José A. Venegas-Venegas<sup>6</sup>, René Pinto-Ruiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). México. Correos electrónicos: francisco.guevara@unach.mx, pinto\_ruiz@yahoo.com.mx. <sup>2</sup>Estudiante de Maestría (MCPAT-PNPC-CONACYT). UNACH. México. Correos electrónicos: DELGADO.RF@hotmail.com, jorge\_delgado1978@hotmail.com. <sup>3</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). México. Correo electrónico: pacholaoarias@gmail.com. <sup>4</sup>Instituto de Investigaciones Agropecuarias Pecuarias Jorge Dimitrov, Bayamo, Cuba. Correo electrónico: alfredo.rodriguez@unicach.mx. <sup>5</sup>Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. Correo electrónico: rodo2110@yahoo.com.mx. <sup>6</sup>Cátedras CONACYT-UNACH-Facultad de Ciencias Agronómicas. México. Correo electrónico: javenegasve@conacyt.mx  
Fuente de financiamiento: SEP-CONACYT en su convocatoria 2015 de Ciencia Básica, con número de registro 000000000258464.

### **Resumen**

Ante la necesidad de contar con información científica que permita tomar mejores decisiones para contrarrestar la contaminación y deterioro ambiental,

---

Recibido el 31-08-2017 • Aceptado el 24-03-2018

\*Corresponding author. Email: DELGADO.RF@hotmail.com

se planteó esta investigación con el objetivo de comparar desde el punto de vista energético y económico el agroecosistema-maíz bajo dos prácticas de manejo, agricultura de conservación y convencional en la región Frailesca, Chiapas, México. Se relacionaron variables cualitativas y cuantitativas mediante un análisis factorial de componentes principales. Se utilizó una metodología de investigación interdisciplinaria con enfoque socio-agronómico y económico. Se aplicaron entrevistas semi-estructuradas en 75 comunidades a 300 productores de maíz. Estos se agruparon de acuerdo con el tipo de manejo respecto a los principios de agricultura de conservación. Las variables de eficiencia energética analizadas fueron: rendimiento de grano ( $t\cdot ha^{-1}$ ), energía consumida (MJ), energía producida ( $MJ\cdot ha^{-1}$ ), intensidad energética y rendimiento energético. Las variables económicas se calcularon mediante indicadores de ingreso y egreso total y relación beneficio/costo, además de indicadores de uso de suelo. En el aspecto económico, se encontró que la diferencia principal la constituyeron los costos de las prácticas agronómicas relacionadas a las labores de preparación del suelo y manejo del rastrojo, las cuales son mayores para el caso del manejo convencional. En el aspecto energético, el manejo de conservación se diferenció del convencional por el uso más eficiente de la energía, expresada en el gasto total de energía para la producción (5.854,55 MJ y 6.422,19 MJ, respectivamente). Dicha eficiencia proveniente principalmente de los insumos empleados en el proceso de producción de maíz.

**Palabras clave:** balance económico, balance energético, eficiencia económica, eficiencia energética, *Zea mays*.

### Abstract

Given the need for scientific information to make better decisions to counteract pollution and environmental degradation, this research aimed to compare the maize-agroecosystem from an energy and economic perspective under two management practices: conservation and conventional in the Frailesca region of Chiapas, Mexico. Qualitative and quantitative variables were related through a factorial analysis of principal components. An interdisciplinary research methodology with socio-agronomic and economic approaches was used. Semi-structured interviews were applied in 75 communities to 300 maize farmers who were grouped according to the type of practices implemented in the maize system: conventional or conservation agriculture. The variables analyzed for energy efficiency were: grain yield ( $t\cdot ha^{-1}$ ), consumed energy (MJ), produced energy ( $MJ\cdot ha^{-1}$ ), energy intensity and energy efficiency. Economic variables analyzed were net income, net outflow and income/cost ratio. Additionally, some land use variables were also analyzed. In the economic aspect, it was found that the main difference between both practices is the costs arising from soil preparation and stubble management which are higher for conventional maize management. In the energy aspect, conservation management differs from the conventional one by a more energy-use of efficiency expressed in the total energy required for

production (5,854.55 MJ and 6,422.19 MJ, respectively). This efficiency comes mainly from the inputs used in the maize production process.

**Key words:** economic balance, energy balance, economic efficiency, energy efficiency, *Zea mays*.

### Resumo

Dada a necessidade de informação científica para tomar melhores decisões para combater a poluição e degradação ambiental, a pesquisa foi levantada a fim de comparar do o ponto de vista energético e agroecossistema-corn econômica sob duas práticas de gestão, agricultura conservação e convencional na região Frailesca, Chiapas, México. As variáveis qualitativas e quantitativas foram relacionadas por meio de uma análise fatorial dos componentes principais. Uma metodologia de pesquisa interdisciplinar com uma abordagem sócio-agronômica e econômica foi utilizada. Entrevistas semi-estruturadas foram aplicadas em 75 comunidades para 300 produtores de milho. Estes foram agrupados de acordo com o tipo de manejo com respeito aos princípios da agricultura de conservação. As variáveis de eficiência energética analisadas foram: rendimento de grãos ( $t \cdot ha^{-1}$ ), energia consumida (MJ), energia produzida ( $MJ \cdot ha^{-1}$ ), intensidade energética e eficiência energética. As variáveis econômicas foram calculadas utilizando indicadores de renda total e renda e relação custo/benefício, bem como indicadores de uso do solo. No aspecto econômico, constatou-se que a principal diferença é o custo das práticas agrônômicas relacionadas ao trabalho de preparo de solo e manejo de restolho, que são maiores no caso do manejo convencional. Do lado energético, o manejo conservacionista difere do convencional pelo uso mais eficiente da energia, expresso no gasto energético total para a produção (5.854,55 MJ e 6.422,19 MJ, respectivamente). Essa eficiência vem principalmente dos insumos utilizados no processo de produção de milho.

**Palavras-chave:** equilíbrio econômico, balanço energético, eficiência econômica, eficiência energética, *Zea mays*.

### Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más importante de México desde el punto de vista alimentario, económico y sociocultural; sin embargo, la situación económica y social del campo mexicano ofrece un panorama desalentador (Moreno-Sáenz *et al.*, 2016), la contaminación y el deterioro ambiental de los recursos naturales son dos de los problemas más graves que enfrenta la agricultura,

### Introduction

Maize (*Zea mays* L.) is the most important crop in Mexico from an economic and sociocultural point of view; however, the economic and social situation of the Mexican countryside offers a discouraging scenario (Moreno-Sáenz *et al.*, 2016), pollution and environmental deterioration of natural resources are two of the most serious problems facing agriculture, caused by the excessive use of

ocasionados por el uso excesivo de contaminantes y la forma de aprovechamiento un tanto irracional de los recursos locales como el suelo en muchas de las regiones agropecuarias (Ysunza, 2001; Ramírez-López *et al.*, 2013), por lo que en la actualidad los agroecosistemas requieren cantidades altas y crecientes de insumos (Denoia *et al.*, 2006; Denoia y Montico, 2010).

En el estado de Chiapas, la Frailesca es conocida como el “Granero de Chiapas” por ser la región con mayor producción de maíz en el estado (Hernández, 2011), se ubica como la más productora de maíz, ya que se siembra alrededor del 17% de la superficie estatal con esta especie (Galdámez *et al.*, 2008). En el 2007, se reportó un incremento en la producción de maíz con resultados por encima de las 4 t ha<sup>-1</sup>, mientras que a nivel nacional el rendimiento fue de 2,824 t ha<sup>-1</sup>, el cual se atañó al alto uso de insumos (Robles, 2010).

Por lo tanto, es necesario pensar en estrategias que garanticen la producción a través del tiempo, más que el simple hecho de lograr producciones elevadas a corto plazo. Una de las estrategias es la adopción de la agricultura de conservación (AC), empero, son necesarios estudios que permitan realizar una mejor planificación de las actividades del agroecosistema así como una distribución más eficiente de los recursos destinados a mejorar el funcionamiento de los diferentes sistemas productivos de la región (Valerio *et al.*, 2004; Sánchez y Romero, 2017).

Ante este contexto, es necesario contar no solo con el criterio económico

pollutants and the irrational use of local resources such as the soil in many of the agricultural regions (Ysunza, 2001; Ramírez-López *et al.*, 2013); therefore, nowadays agroecosystems require high and increasing quantities of inputs (Denoia *et al.*, 2006; Denoia and Montico, 2010).

In Chiapas state, Frailesca is known as the “Barn of Chiapas” because it is the region with the highest maize production in the state (Hernández, 2011), it is located as the most producing maize region, since about 17% of the state area is sown with this species (Galdámez *et al.*, 2008). In 2007, an increase in maize production was reported with results over 4 t ha<sup>-1</sup>, meanwhile the yield was 2.824 t ha<sup>-1</sup>, at the national level due to the high use of inputs (Robles, 2010).

Therefore, it is necessary to think of strategies that guarantee production over the time, rather than achieving high productions in the short term. One of the strategies is the adoption of preservation agriculture (PA); however, studies are needed to make better planning of agroecosystem activities as well as a more efficient distribution of resources committed to improving the functioning of the different productive systems in the region (Valerio *et al.*, 2004; Sánchez and Romero, 2017).

Therefore, it is necessary to count not only with the economic criterion but also with other variables to have a greater assessment when making decisions, as is the case of energy efficiency. This analysis is complex, especially when it is analyzed systematically and it also considers

sino también con otras variables que ayuden a tener una mayor valoración al momento de tomar decisiones, como es el caso de la eficiencia energética. Este análisis es complejo, sobre todo cuando se analiza sistemáticamente y además consideran variables múltiples que tienen que ver no solo con criterios técnicos o productivos, pero si con la combinación de estos con los económicos, sociales y ambientales. Para ello se han propuesto métodos de análisis que permitan relacionar variables múltiples como el análisis factorial de componentes principales, o el análisis multivariado de correspondencia simple (Avilez *et al.*, 2010).

El objetivo de esta investigación fue analizar desde el punto de vista energético y económico el agroecosistema maíz bajo dos tipos de prácticas de manejo, agricultura de conservación y convencional, en la región Frailesca, Chiapas, México.

## Material y métodos

### Localización

El estudio se realizó en el ciclo agrícola primavera-verano de 2015, en los municipios de Villaflores, Villa Corzo, El Parral, Montecristo de Guerrero, La Concordia y Ángel Albino Corzo, los cuales conforman la región Frailesca, del estado de Chiapas, México (figura 1).

La región Frailesca presenta climas de los grupos cálidos y semicálidos, con lluvias abundantes en verano. Durante los meses de mayo a octubre, la temperatura mínima promedio osciló entre los 12 hasta

múltiple variables that have to do not only with technical or productive criteria, but with the combination of these with the economic, social and environmental aspects. For this reason, analysis methods have been proposed to relate multiple variables such as the factorial analysis of principal components or the multivariate analysis of simple correspondence (Avilez *et al.*, 2010).

The aim of this research was to analyze from an energetic and economic point of view the maize agroecosystem under two types of handling practices, preservation and conventional agriculture in the Frailesca region, Chiapas, Mexico.

## Materials and methods

### Location

The study was carried out in the agricultural cycle of spring-summer in 2015, in the municipalities of Villaflores, Villa Corzo, El Parral, Montecristo de Guerrero, La Concordia and Angel Albino Corzo, which make up the Frailesca region of Chiapas state, Mexico (figure 1).

The Frailesca region presents warm and semi-warm climate, with abundant rains in summer. From May to October, the average minimum temperature ranged from 12 to 21 °C. In this same period, the maximum average temperature ranged from 21 to 34.5 °C. Rainfall in these months oscillated between 1000 and 2600 mm. In the region, three types of land were distinguished by their physiographic position. The one located along the rivers is known as meadows, which

los 21 °C. En este mismo periodo, la temperatura máxima promedio osciló entre los 21 hasta los 34,5 °C. Las precipitaciones en estos meses oscilaron entre los 1000 y 2600 mm. En la región se distinguieron tres tipos de terrenos clasificados por su posición fisiográfica. Aquellos ubicados en los márgenes de los ríos son conocidos con el nombre de vegas o bajíos, las cuales ocupan el 10% de la superficie total. El otro tipo son los terrenos conocidos como terrazas, los cuales cuentan con una pendiente entre el 5 y el 20% y ocupan el 56% de la superficie total de región. El tercer tipo de terrenos son los ubicados en laderas que tienen pendientes superiores al 20% y

occupies 10% of the total surface area. The other type is known as terraces, which has a slope between 5 and 20% and occupies 56% of the total area of the region. The third type of land is the one located on slopes with slopes above 20% and occupies 34% of the total area of the region (Guevara *et al.*, 2013).

An interdisciplinary research methodology was used with a socio-agronomic and economic approach as proposed by Guevara-Hernández (2007), in which the elements of the agroecosystem that want to be investigated, addressed or improved from a systemic analysis are taken into consideration by obtaining

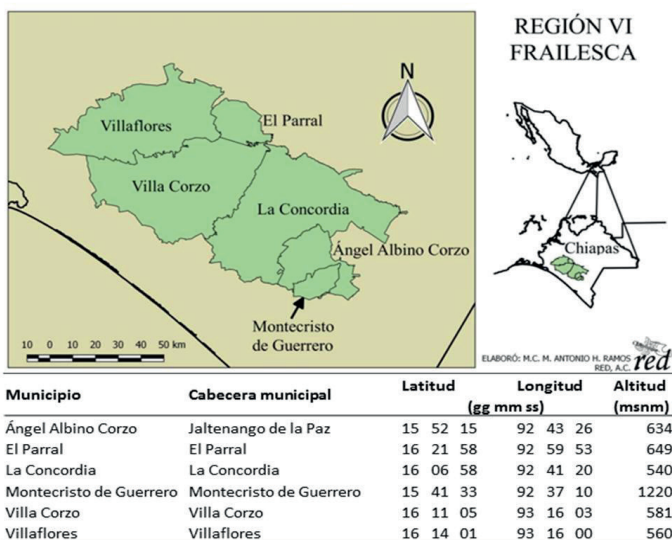


Figura 1. Ubicación de la región Frailesca y sus municipios dentro del estado de Chiapas, México. Fuente, RED AC. 2017.

Figure 1. Location of the Frailesca region and its municipalities within Chiapas state, Mexico. Source, RED AC. 2017.



ocupan el 34% de la superficie total de la región (Guevara *et al.*, 2013).

## Materiales y métodos

Se utilizó una metodología de investigación interdisciplinaria, con enfoque socio-agronómico y económico, según lo planteado por Guevara-Hernández (2007), donde se profundiza en los elementos del agroecosistema que desean investigarse, atenderse o mejorarse a partir de un análisis sistémico, sobre el cual se recolecta información obtenida a partir de la combinación de métodos de investigación cuantitativa con cualitativa; en este caso de aspectos técnicos y económicos y sociales del agroecosistema maíz.

### Entrevistas

Se aplicaron entrevistas semi-estructuradas en 75 comunidades de la región Frailesca, el tamaño de muestra fue de 300 productores de maíz (5% de la población total de productores de maíz) determinada con base a la ecuación estadística propuesta por Torres *et al.* (2006). Estas se agruparon de acuerdo con el tipo de manejo del cultivo del maíz. De éstos, 108 productores fueron considerados bajo manejo convencional y 192 productores bajo manejo de agricultura de conservación. El primer grupo basó su producción mediante el uso de tecnología sustentada en el empleo de maquinaria para el movimiento del suelo y de un uso elevado de insumos agrícolas. El segundo grupo fundamentó sus prácticas de manejo y uso del suelo con técnicas agroecológicas como la labranza

información from the combination of quantitative with qualitative research methods; in this particular case of technical economic and social aspects of maize agroecosystem.

### Interviews

Semi-structured interviews were applied in 75 communities in the Frailesca region, the size of the sample was 300 maize producers (5% of the total population of maize producers) which was determined based on the statistical equation proposed by Torres *et al.* (2006). These were grouped according to the type of maize crop management. A hundred and eight producers were considered under conventional management and 192 producers under the preservation agriculture management. The first group based its production using technology based on the use of machinery for soil movement and high use of agricultural inputs. The second group based its management practices and soil use with agro-ecological techniques such as minimum and zero tillage, minimal or rational use of inputs to improve ecological processes and soil-water-plant interactions. The producers who practiced the management of preservation of agriculture characterized by having a high age (50 years old) compared to those who practiced a conventional management (48 years old). Both managements were highlighted by having smallholder producers with surfaces of 4.08 and 4.46 ha, respectively. The main activity for both conventional and preservation management was agricultural (98.15 and 86.98%, respectively)

mínima y cero, uso mínimo o racional de insumos para mejorar los procesos ecológicos y las interacciones suelo-agua-planta. Los productores que practicaron el manejo de agricultura de conservación se caracterizaron por tener mayor edad (50 años) respecto a los que practicaron un manejo convencional (48 años). Ambos manejos se destacaron por tener productores minifundistas con superficies de 4,08 y 4,46 ha, respectivamente; la actividad fundamental tanto para el manejo convencional como el de conservación, fue la agrícola (98,15 y 86,98%, respectivamente) y una minoría la combinación de agrícola-pecuario (1,85 y 13,02%, respectivamente).

A partir de la información recolectada, se elaboró una base de datos con las variables que representaron la dimensión del agroecosistema maíz sobre la base de los indicadores de eficiencia energética. Es decir, energía consumida ( $\text{MJha}^{-1}$ ), dividida en sus respectivos componentes (gasto energético de semillas, fertilizantes, herbicidas, mano de obra, entre otros), energía producida ( $\text{MJha}^{-1}$ ), eficiencia energética (Funes *et al.*, 2011), intensidad energética y rendimiento energético (Amanloo and Mobtaker, 2013). El enfoque del balance energético no consideró los costos ecológicos provenientes de la energía solar, el calor disipado o la energía degradada en el sistema por la dificultad para estimar estos parámetros bajo las condiciones de marginación extrema existentes en el estado de Chiapas.

### **Análisis energético**

El análisis energético se realizó de acuerdo con lo propuesto por Meul *et al.*

and a minority the combination of agricultural-livestock (1.85 and 13.02%, respectively).

Based on the information collected, a database was developed with the variables that represented the dimension of the maize agroecosystem based on the energy efficiency indicators, that is, energy consumed ( $\text{MJha}^{-1}$ ), divided into their corresponding components (energy expenditure of seeds, fertilizers, herbicides, labor, among others), energy produced ( $\text{MJha}^{-1}$ ), energy efficiency (Funes *et al.*, 2011), energy intensity and energy efficiency (Amanloo and Mobtaker, 2013). The energy balance approach did not consider the ecological costs of solar energy, dissipated heat or degraded energy in the system because of the difficulty in estimating these parameters under the extreme marginalization conditions existing in Chiapas state.

### **Energy analysis**

The energy analysis was carried out in accordance with the proposed by Meul *et al.* (2007). The energy inputs and outputs that depend on the system management and characterized by physical material flows and inputs used for production were considered by documenting the elements needed to calculate energy efficiency. The area of the productive system, type and quantity of the food products obtained were included as well as the area of the production system, type and quantity of the food products obtained, direct energy expenditures (human and animal labor, use of fuels) and indirect (seeds,



(2007). Se consideraron las entradas y salidas de energía que depende del manejo del sistema, caracterizadas mediante flujos de materia física e insumos utilizados para la producción; mediante la documentación de los elementos necesarios para calcular la eficiencia energética. Se incluyeron aquí, el área del sistema productivo, tipo y cantidad de alimento de los productos obtenidos, gastos energéticos de la producción directos (fuerza de trabajo humano y animal, empleo de combustibles) e indirectos (semillas, herbicidas, insecticidas, fertilizantes y otros insumos). Los contenidos de energía de productos de origen vegetal utilizados para los

herbicidas, insecticidas, fertilizers and other inputs). The energy content of plant-derived products used for the calculations was taken from Gebhardt *et al.* (2007) (table 1).

Table 2 presents the energy equivalences used to calculate the expenses in direct and indirect inputs stated by García (1996).

**Economic analysis**

Indicators were calculated with the income and expenses (total income and output and benefit/cost ratio) following Louman *et al.* (2001) methodology; thus, the costs were also included in a fractional way: rotation, burning, cleaning, tracing of previous harvest, tillage, irrigation,

**Cuadro 1. Relación del contenido de energía (parte consumible) para los cálculos de producción de energía.**

**Table 1. Energy content ratio (consumable part) for energy production calculations.**

Producto vegetal	Energía (MJ·kg <sup>-1</sup> )
Maíz (grano seco)	15,3
Maíz (grano tierno)	3,6

Fuente: Adaptado de Gebhardt *et al.* (2007).

cálculos se tomaron de Gebhardt *et al.* (2007) (cuadro 1).

En el cuadro 2 se presentan las equivalencias energéticas empleadas para calcular los gastos en insumos directos e indirectos referidas por García (1996).

**Análisis económico**

Con los ingresos y egresos se calcularon indicadores (ingreso y egreso total y relación beneficio/costo) siguiendo la metodología de Louman *et al.* (2001), así también se incluyeron de manera fraccionada los costos:

fertilization, transportation of grains, harvest of maize, transportation of maize, collection of green material, among others; and income from grain sales, corn, among others. Production units were considered as closed systems, which only accounted for the system’s costs and revenues, and were also considered as land use indicators.

**Statistical analysis**

Student T test was used to facilitate the interpretation of the data and the of the evaluated variables were compared in the two forms of

**Cuadro 2. Equivalencia energética utilizada para calcular gastos en insumos directos e indirectos.****Table 2. Energy equivalence used to calculate expenses in direct and indirect inputs.**

Insumos directos	MJ**/unidad	Insumos indirectos	MJ**/unidad
Petróleo (L)	38,7	Fertilizantes (N) (kg)	51,5 - 61,5
Gasolina (L)	3,4	Fertilizantes (P) (kg)	1,7 - 12,6
Fuerza de trabajo humano (h)	1,0	Fertilizantes (K) (kg)	5,0 - 11,5
Fuerza de trabajo animal (h)	5,9 - 9,2	Fertilizantes orgánicos* (kg)	0,3
Electricidad (kW·h <sup>-1</sup> )	3,6	Herbicidas (kg)	238,0
		Insecticidas (kg)	184,0
		Máquinas	88,0

Fuente: García, 1996.

\* Energía expandida en la manipulación y la preparación de 1 kg de fertilizante orgánico.

\*\* 1 joule (J) = 0,2388 cal; 1 cal = 4,18 J (Consejo Mundial de la Energía).

MJ = 238845,89 cal; kWh = 3,16 x 108 J.

ronda, quema, chaporreo (limpia), rastreo de cosecha anterior, de aradura, riego, fertilización, acarreo de granos, cosecha elote, acarreo elote, recolecta de material verde, entre otras; y los ingresos por venta de grano, elotes, entre otros. Se consideraron las unidades de producción como sistemas cerrados, que solamente se contabilizaron los costos e ingresos del sistema; así también se consideraron indicadores de uso de suelo.

**Análisis estadístico**

Para facilitar la interpretación de los datos se realizó una prueba de T de Student y se compararon las medias de las variables evaluadas en las dos formas de manejo del agroecosistema y para inferir sobre las relaciones de las variables se hizo un análisis factorial de componentes principales (AFCP), lo cual permitió la síntesis de la información y la disminución de la dimensión del número de variables (41 variables que incluyeron indicadores energéticos, económicos y uso del suelo) de acuerdo a lo planteado por

the agroecosystem management; a factor analysis of main components (FAMC) was performed to infer on the relationships of the variables, allowing the synthesis of information and the decrease in size of the number of variables (41 variables that included energy, economic and land use indicators) according to what was stated by Zuliani (2012). From the FAMC, radial graphs were made based on the scores generated from the statisticians of the eight factors or components (new variables), which were expressed as a percentage for more understanding.

**Results and discussion****Energy analysis**

In table 3 is observed that the energy consumption and production patterns are different but compensatory for both managements. Preservation agriculture had lower energy yields ( $P < 0.059$ ) but consumption was also lower ( $P < 0.014$ ). Therefore,

Zuliani (2012). A partir del AFCP se realizaron gráficas radiales con base a los “scores” (puntuación) generados de los estadígrafos de los ocho factores o componentes (nuevas variables), los cuales fueron expresados en porcentaje para mayor comprensión.

**Resultados y discusión**

**Análisis energético**

En el cuadro 3 se observa que los patrones energéticos de consumo y producción son diferentes pero compensatorios para ambos manejos. La agricultura de conservación tuvo rendimientos energéticos ( $P<0,059$ ) menores pero el consumo también fue menor ( $P<0,014$ ). Por eso, sus índices energéticos, en este caso, no difirieron

their energy indexes, in this case, did not differ statistically from the conventional system.

A detail that worth remarking is that both managements showed a high energy efficiency with 9.08 (PA) and 9.27 (CONVA) MJ produced by each unit of energy consumed, compared with other crops as in the case of Apples with 0.36 in Azerbaiyán, Iran (Fadavi *et al.*, 2011), 1.81 for beans, 1.79 for lentils, and 2.78 for chickpea in Khorasan Razavi, Iran, (Moradi *et al.*, 2011), horticultural plants of Fadama, Nigeria, which ranged from 0.10 to 0.06 (Ibrahim, 2011) and canola 3.75 en Golestan, Iran (Mousavi-Avval *et al.*, 2011).

As well as within the same crop, which is compared to what was

**Cuadro 3. Indicadores de energía de los manejos de agricultura de conservación y convencional en el sistema de producción de maíz.**

**Table 3. Energy indicators of preservation and conventional agriculture management in the maize production system.**

Indicadores de energía	AC		ACONV		Sig.
	Media	EE	Media	EE	
Total de energía consumida (MJ)	5854,55	33,09	6422,19	44,12	0,014
Total de energía producida (MJ)	51784,52	290,80	55620,46	387,74	0,059
Intensidad energética (MJ·kg <sup>-1</sup> )	1,97	0,02	1,91	0,02	0,578
Rendimiento energético (kg·MJ <sup>-1</sup> )	0,60	0,06	0,61	0,09	0,689
Eficiencia energética	9,0	0,24	9,27	0,31	0,621

AC= agricultura de conservación. ACONV= agricultura convencional. EE: error estándar. Sig: significancia.

estadísticamente del sistema convencional.

Un punto importante que vale la pena remarcar, constituyó el que en ambos manejos se mostró una alta eficiencia energética con 9,08 (AC) y 9,27 (ACONV) MJ producidos por cada unidad de energía consumida, esto en comparación con otros cultivos como fue el caso del cultivo de manzanas con 0,36 en Azerbaiyán, Irán (Fadavi *et al.*, 2011), 1,81 para frijol, 1,79 para la lenteja, y 2,78 para el garbanzo en Khorasan Razavi, Irán, (Moradi *et al.*, 2011), hortícolas de Fadama, Nigeria, las cuales van de 0,10 a 0,06 (Ibrahim, 2011) y canola 3,75 en Golestán, Irán. (Mousavi-Avval *et al.*, 2011).

Así como también dentro del mismo cultivo, lo cual es comparable con lo reportado por Pimentel *et al.* (2005) en diferentes sistemas agrícolas, encontrándose el más cercano a éste el de roza y quema con 8,4; seguido del intensivo con sostenibilidad mejorada con 4,8 y muy por debajo al empleado con animales de tiro y agroforestal, ambos con 4,1 y por último al industrial con 2,8. No obstante, se encontró por debajo del maíz sembrado de forma manual con una eficiencia de 10 reportada por Pimentel (1980) citado por Funes-Monzote (2009).

En la productividad o rendimiento energético que mostraron tener los manejos de AC y ACONV en el cultivo de maíz, resultaron ser altos con 0,60 y 0,61 kgMJ<sup>-1</sup>, respectivamente, en comparación con los cultivos de manzana con 0,19 kgMJ<sup>-1</sup> (Fadavi *et al.*, 2011) y patatas 0,35 kgMJ<sup>-1</sup> (Mohammadi *et al.*, 2008), es decir,

reported by Pimentel *et al.* (2005) in different agricultural systems, the closest to it is tilling and burning with 8.4, followed by the intensive with improved sustainability with 4.8 and far below the employed with draught animals and agroforestry, both with 4.1; finally the industrial with 2.8. However, it was found below the maize sown manually with an efficiency of 10 reported by Pimentel (1980) quoted by Funes-Monzote (2009).

In the productivity or energy performance that showed the management of PA and CONVA in maize cultivation, these were high with 0.60 and 0.61 kgMJ<sup>-1</sup>, respectively, compared to apple crops with 0.19 kgMJ<sup>-1</sup> (Fadavi *et al.*, 2011) and potatoes 0.35 kgMJ<sup>-1</sup> (Mohammadi *et al.*, 2008), that is, higher output unit per energy unit was obtained.

In a more detailed look in relation to the management, it was observed that conventional management had better yield, however it was not a significant difference. Pimentel *et al.* (2005) had the same observation by mentioning that the yields of conventional systems were similar to the ones of preservation systems, while preserving soil, water, energy and biological resources.

On the other hand, the productivity evaluation of an agricultural system should take into account not only the energy outputs in terms of products but also the employees to improve or maintain their biological structure and its functioning. Therefore, the results of the energy assessment indicated that preservation management

se obtuvo mayor unidad de salida por unidad de energía.

En una mirada más detallada entre manejos se observó con mejor rendimiento al manejo convencional, sin ser esta diferencia significativa, lo cual coincidió con Pimentel *et al.* (2005) quienes mencionaron que los rendimientos de los sistemas convencionales fueron similares al de conservación, mientras se conservó el suelo, el agua, la energía y los recursos biológicos.

Por otra parte, la evaluación de la productividad de un sistema agrícola debe tomar en cuenta no solo las salidas energéticas en términos de productos sino también los empleados para mejorar o mantener su estructura biológica y su funcionamiento. Por lo tanto, los resultados de la evaluación energética indicaron que el manejo de conservación tuvo una tendencia no significativa de realizar mejor uso de la energía en la producción de maíz.

### **Análisis económico**

Desde el punto de vista económico, también se verificó un proceso compensatorio análogo al de la eficiencia energética. La agricultura de conservación generó ingresos significativamente menores ( $P < 0,001$ ) pero también, requirió de menos gastos ( $P < 0,005$ ). Entonces la relación costo-beneficio no presentó diferencias estadísticas entre ambas formas de manejo (cuadro 4).

En la agricultura convencional, los costos están asociados al uso excesivo de insumos externos, dentro de los que destacan los fertilizantes químicos. Esto concordó con lo encontrado por Ysunza (2001), Ocaña-Grajales (2015)

had a non-significant tendency to make better use of energy in maize production.

### **Economic analysis**

From the economic point of view, a compensatory process similar to that of energy efficiency was also verified. Preservation agriculture generated significantly lower income ( $P < 0.001$ ) but also required less expenditure ( $P < 0.005$ ). The cost-benefit ratio did not present statistical differences between the two forms of management (table 4).

In conventional agriculture, costs are associated with the excessive use of external inputs, standing out the chemical fertilizers. This agreed with the findings found by Ysunza (2001), Ocaña-Grajales (2015) and Delgado-Ruiz (2017). Nevertheless, even with the difference found in costs among management, it should be noted that in both cases these proved to be lower than those reported by Ramírez *et al.* (2014) in the municipality of Frontera Comalapa, Chiapas.

According to the aforementioned, a favorable trend (non-significant in this moment) was identified in the economic aspects for the preservation management; therefore, this seems to represent a medium and long-term option for maize production in the Frailesca region. This would be observed at the moment of obtaining similar or higher income to those obtained in conventional management, plus the benefits of reducing production costs as well as reducing crop risks to the uncertainty of climate change and its effects on the maize production under the

y Delgado-Ruiz (2017). No obstante, aun con la diferencia encontrada en los costos entre manejos, cabe resaltar que para ambos casos estos resultaron ser menores a los reportados por Ramírez *et al.* (2014) en el municipio de Frontera Comalapa, Chiapas.

De acuerdo con las consideraciones antes mencionadas, se identificó una tendencia (en este momento no significativa) favorable en los aspectos económicos para el manejo de conservación; por lo que, esta pareciera representar una opción de mediano y largo plazos para la producción de maíz en la región Frailesca. Esto se manifestaría al momento de obtenerse ingresos similares o mayores a los obtenidos en el manejo convencional, además sumado a los beneficios de reducir los costos de la producción así como disminuir los riesgos del cultivo ante la incertidumbre del cambio climático y sus efectos en la producción del maíz bajo manejo de temporal y

temporary management and above all, when using practices that favor the environment.

### Main components

The factor analysis of main components (FAMC) allowed identifying eight components or factors that extracted 64.53% of the total variance (table 5). Out of the 41 variables assessed, only seven were not related to any of the components, proving that they are common for all cases and do not contribute to the differentiation of both managements in maize production in the Frailesca region. Only those related to the production costs of maize, income-sale of maize in grain, costs of fertilization, costs of soil preparation, energy efficiency, costs of cleaning and burning, costs of fertilization and pests control and livestock and forestry surface were related to any of the components.

#### Cuadro 4. Indicadores económicos de los manejos de agricultura de conservación y convencional en el sistema de producción de maíz.

Table 4. Economic indicators of the preservation and conventional agricultural management in the maize production system.

Análisis económico	AC		ACONV		Sig.
	Media	EE	Media	EE	
Costo total de producción de maíz	\$ 9438,79	208,79	\$ 11412,00	294,06	0,001
Ingreso total de la producción de maíz	\$ 13722,40	528,48	\$ 16230,09	813,85	0,007
Relación beneficio/costo de la producción de maíz	1,50	0,05	1,44	0,06	0,529

Donde: AC= agricultura de conservación. ACONV= agricultura convencional. EE= error estándar. Sig= significancia.



sobre todo, al emplearse prácticas que favorecen el ambiente.

**Componentes principales**

El análisis factorial de componentes principales (AFCP) permitió la identificación de ocho componentes o factores que extrajeron el 64,53% de la varianza total (cuadro 5). De las 41 variables evaluadas, solo siete de ellas no tuvieron relación con ninguno de

The conventional management differentiated mainly by two of the eight components generated in the FAMC, which were soil preparation costs and cost of cleaning and burning of the area. Both components concerned with antagonistic agronomic practices at the beginning of preservation agriculture. The first component, related to the movement of the soil,

**Cuadro 5. Componentes principales y variables asociadas con porciento de la varianza extraída.**

**Table 5. Main components and variables associated with percent of the extracted variance.**

Componente	Variables asociadas (correlación con la componente)	Varianza explicada (%)
Costos de producción de elote (grano tierno en mazorca)	Ingresos elote (0,95), costo riego (0,95), costo cosecha elote (0,98), costo acarreo elote (0,95), costo colecta material verde (0,99).	15,14
Ingresos venta maíz (grano maduro)	Ingresos maíz grano (0,92), ingresos rastrojo (0,56), superficie agrícola (0,75), relación beneficio/costo (0,89), gasto energético semillas (0,59) y rendimiento (0,51).	14,21
Gasto energético de fertilización y acarreo de grano	Costo acarreo de granos (0,72), gasto energético fertilizantes (0,89), gastos fertilizantes químicos (0,89)	9,24
Costo de preparación del suelo	Costo rastreo cosecha anterior (0,92), costo chaporreo (-0,74), costo aradura (0,92).	7,89
Eficiencia energética	Gasto energético herbicidas (-0,73), gasto energético insecticidas (0,73), gasto energético total (-0,66) y eficiencia energética (0,64).	5,98
Costos de ronda y quema	Costo ronda (0,78), costo quema (0,62), y gasto energético trabajo humano (0,68).	4,44
Costos de fertilización y control de plagas	Costo de la primera fertilización (0,74) y costo de la segunda fertilización (0,63).	4,12
Superficie ganadera y forestal	Superficie ganadera (-0,65) y superficie forestal (0,50).	3,47

Los números entre paréntesis corresponden a los scores generados en el análisis de componentes principales.

los componentes; lo cual demuestra que son comunes para todos los casos y no contribuyen a la diferenciación de ambos manejos en la producción de maíz de la región Frailesca. Solo las relacionadas con los costos de producción de elotes, ingresos-venta de maíz en grano, costos de fertilización, costos de preparación de suelos, eficiencia energética, costos de ronda (limpia) y quema, costos de fertilización y control de plagas y superficie ganadera y forestal se relacionaron con alguno de los componentes.

El manejo convencional se diferenció principalmente por dos de los ocho componentes generados en el AFCP, los cuales fueron: costos de preparación del suelo y costos de ronda (limpia) y quema del sitio. Ambos componentes referidos a prácticas agronómicas antagónicas al principio de agricultura de conservación. El primer componente, aludido al movimiento del suelo incluyó variables que pertenecían a labores culturales mecanizadas, siendo estas donde mayor costo económico se generó para la producción de maíz; es decir, que la diferencia se enmarcó a la parte económica.

Para el segundo componente costos de ronda (limpia) y quema, el cual incluyó acciones contrarias al de mantener una cobertura orgánica permanente o semi-permanente sobre la superficie del suelo. Cabe hacer hincapié que la diferencia nuevamente se dirigió a la parte económica más no así a la parte energética.

En ambos componentes que diferenciaron el manejo convencional corroboraron lo señalado por Altieri

included variables that belonged to mechanized cultural work, being these where the higher economic cost was generated for the maize production; that is to say, that the difference was framed to the economic aspect.

The second component, cleaning and burning, included actions contrary to maintaining permanent or semi-permanent organic coverage on the soil surface. It should be emphasized that the difference resulted to the economic aspect but not to the energetic aspect.

Both components that differentiated conventional management corroborated what was pointed out by Altieri (1994) and Hernández *et al.* (2013) with the high use of inputs, such as intensive soil labor that required high investments in the procurement and maintenance of agricultural machinery and fuel.

On the other hand, the management of preservation agriculture was differentiated by the energy efficiency component. This characteristic was less accentuated than the previous components that characterized conventional management; however, it is observed in figure 2 more energy efficiency for the preservation management.

This was attributed to the reduced quantity of energy-intensive inputs (MJ) by the conservation management, such as fossil fuels used in agricultural work, as well as chemical products used in weed control and pests. This is mainly due to the use of agro-ecological techniques involving the PA, even though the literate farmers barely have three years of carrying out these practices. These results agreed with those of grass production (Denoia *et*

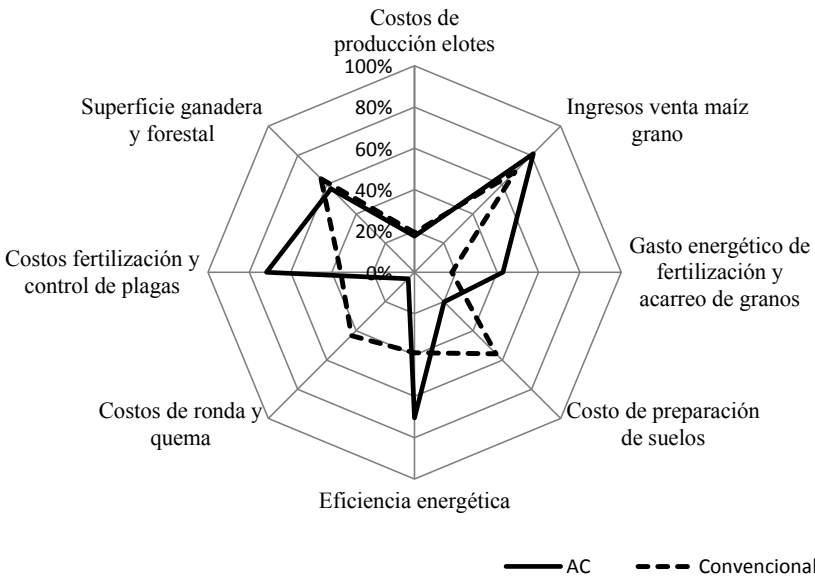
(1994) y Hernández *et al.* (2013) con el alto uso de insumos, como fue el laboreo intensivo del suelo que requirió elevadas inversiones en adquisición y mantenimiento de maquinaria agrícola y combustible.

Por su parte el manejo de agricultura de conservación lo diferenció el componente de eficiencia energética. Esta característica se vio menos acentuada que los componentes anteriores que caracterizaron al manejo convencional; sin embargo, se observó en la figura 2 mayor

*al.*, 2008); as in the tomato production system (Denoia and Montico, 2010); and with the management of avocado orchards (Anaya and Burgos, 2015).

It was then confirmed the highest energy consumption in conventional tillage management systems compared with minimum tillage in preservation agriculture and direct sowing (IDAE, 2009; Guevara-Hernández *et al.*, 2015), which directly influenced energy efficiency.

Even though it showed a better use of direct and indirect energy, which



**Figura 2. Caracterización de los manejos del agroecosistema maíz en la región Frailesca, con base al análisis de componentes principales. AC: agricultura de conservación, Convencional: agricultura convencional.**

**Figure 2. Management characterization of maize agro-ecosystem in the Frailesca region, based on the analysis of main components. PA: preservation agriculture, Convencional: conventional agriculture.**

eficiencia energética para el manejo de conservación.

Esto se atribuyó a que el manejo de conservación empleó menor cantidad de insumos con alto contenido de energía (MJ), como son los combustibles fósiles empleados en las labores agrícolas, así como de productos químicos utilizados en las labores de control de malezas y plagas. Esto se debe principalmente al uso de las técnicas agroecológicas que involucra la AC, aun cuando los agricultores estudiados apenas cuentan con tres años de realización de dichas prácticas. Estos resultados coincidieron con el de producción de pasturas (Denoia *et al.*, 2008); al igual que en el sistema de producción de tomate (Denoia y Montico, 2010); y con el manejo de huertas de aguacate (Anaya y Burgos, 2015).

Se confirmó entonces, el mayor consumo energético para los sistemas de manejo de laboreo convencional comparado con el de mínimo laboreo en agricultura de conservación y siembra directa (IDAE, 2009; Guevara-Hernández *et al.*, 2015), lo cual influyó directamente en la eficiencia energética.

Aun cuando mostró un mejor empleo de fuentes de energía directa e indirecta de manera general, el cual fue expresado en la eficiencia energética; hubo deficiencia en el manejo de energía en labores específicas, tal como se demostró en los componentes de gastos energéticos de fertilización y acarreo de granos, donde hubo mayor gasto de energía en el uso de las fuentes de fertilización así como del gasto energético en las actividades

was expressed in energy efficiency, there was a deficiency in the energy management in specific tasks as demonstrated in the components of energy expenditures of fertilization and grain hauling, where there was more energy expenditure in the use of the fertilization sources as well as the energy expenditure in grain-hauling activities. In addition to presenting higher economic costs in the fertilization works, pest and weed control, which are within the component of fertilization costs and pest control.

Thus, the main PA management difference was referred to the environment, that is, to a better handle of the resources which allow preserving the environment and finding a production that would be sustainable in the time.

## Conclusions

The main difference for conventional management is the economic costs of agronomic practices related to soil preparation and stubble management. Preservation management is differentiated by the most efficient use of direct and indirect energy sources expressed in total expenditure, rather than in specific cultural tasks such as crop nutrition, as well as higher economic costs in cultural work of fertilization, pest and weed control. Among the two managements there is no statistical difference in energy efficiency or in the economy efficiency due to the usage time of agro-ecological practices; however, a favorable non-significant

de acarreo de grano. Además de presentar mayores costos económicos en las labores de fertilización, control de plagas y malezas, mismas que se encuentran dentro del componente de costos de fertilización y control de plagas.

Resulta entonces que la diferencia principal del manejo de AC se refirió a la parte ambiental; es decir, a un mejor manejo de los recursos, lo cual permite conservar el ambiente y buscar una producción sostenible en el tiempo.

## Conclusiones

La diferencia principal para el manejo convencional lo constituyen los costos económicos de prácticas agronómicas referidas a las labores de preparación de suelo y manejo del rastrojo. El manejo de conservación se diferencia por el uso más eficiente de las fuentes de energía directa e indirecta expresadas en el gasto total, más no así en labores culturales específicas como es la nutrición del cultivo, además de ostentar mayores costos económicos en las labores culturales de fertilización, control de plagas y malezas. Se precisa que entre ambos manejos no hay diferencias estadísticas en la eficiencia energética ni en la económica debido al tiempo de uso de las prácticas agroecológicas; sin embargo, se demuestra una tendencia no significativa favorable para el manejo de conservación al obtener resultados similares tanto energéticos como económicos, pero con costos energéticos y económicos menores al manejo convencional.

trend for preservation management is demonstrated by obtaining similar results, both energetic and economic, but with lower energy and economic costs than conventional management.

## Recommendations

Preservation agriculture shows an alternative to the problem of pollution and environmental deterioration of natural resources; nevertheless, it is necessary to carry out a research that integrates environmental indicators in addition to energy and economic indicators, and with results of at least three years of implementation of agroecological practices.

## Acknowledgment

This article was developed as part of the results of the project: socio-agronomic characterization of local maize with multiple-use potential in Frailesca, Chiapas. The authors also thank the staff of CONACYT and MasAgro-CIMMYT, as well as the producers that helped during the research project.

*End of English version*

---



---

## Recomendaciones

Ante los resultados encontrados, la agricultura de conservación muestra ser una alternativa a la problemática de la contaminación y el deterioro ambiental de los recursos

naturales; no obstante, es necesario realizar investigaciones que integren además de los indicadores energéticos y económicos los indicadores ambientales; y con resultados de mínimo tres años de implementadas las prácticas agroecológicas.

## Agradecimiento

Este artículo se elaboró como parte de los resultados del proyecto: Caracterización socio-agronómica de maíces locales con potencial de uso múltiple en la Frailesca, Chiapas. Se agradece al personal del CONACYT y de MasAgro-CIMMYT, así como a los productores con quienes se trabaja de cerca en este proyecto de investigación.

## Literatura citada

- Altieri, M.A. 1994. Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable. *Agricultura Técnica* 54(4):371-386.
- Amanloo, A. and H.G. Mobtaker. 2013. Energy balance and sensitivity analysis of inputs for forage maize production in Iran. *Intl. J. Agric. Crop Sci.* 5(4):377-384.
- Anaya, C.A. y A.L. Burgos. 2015. Consumo de energía en el manejo de huertas de aguacate en Michoacán, México. *Rev. Chapingo. Serie Horticultura* 21(1):5-20.
- Avilez, J.P., P. Escobar, G.V. Fabeck, K. Villagran, F. García, R. Matamoros y A. García. 2010. Caracterización productiva de explotaciones lecheras empleando metodología de análisis multivariado. *Rev. Cient. FCV-LUZ.* 20(1):74-80.
- Delgado-Ruiz, 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, Chiapas. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chiapas, México.
- Denoia, J., B. Bonel, S. Montico y N. Di Leo. 2008. Análisis de la gestión energética en sistemas de producción ganaderos. *FAVE Sección Ciencias Agrarias* 7(1/2):43-56.
- Denoia, J., M. Vilche, S. Montico, B. Bonel y N. Di Leo. 2006. Análisis descriptivo de la evolución de los modelos tecnológicos difundidos en el Distrito Zavalla (Santa Fe) desde una perspectiva energética. *Cienc. Docencia Tecnol.* 33:211-226.
- Denoia, J. y S. Montico. 2010. Balance de energía en cultivos hortícolas a campo en Rosario (Santa Fe, Argentina). *Cienc. Docencia Tecnol.* 41:145-157.
- Fadavi, R., A. Keyhani and S.S. Mohtasebi. 2011. An analysis of energy use, input costs and relation between energy inputs and yield of apple orchard. *Research in Agricultural Engineering* 57(3):88-96.
- Funes Monzote, F., J. Suárez, D. Blanco, F. Reyes, L. Cepero, J.L. Rivero, E. Rodríguez, Y. Savran, M. Cala, M. Vigil, J.A. Sotolongo, S. Boillat y J.E. Sánchez. 2011. Evaluación inicial de sistemas integrados para la producción de alimentos y energía en Cuba. *Pastos y Forrajes* 34(4):445-462.
- Funes-Monzote, F. 2009. Agricultura con futuro, la alternativa agroecológica para Cuba. Estación Experimental Indio Hatuey, Universidad de Matanzas. 176 p.
- Galdámez, J., C.E. Aguilar, A. Jiménez, S. Gutiérrez, Mendoza y F.B. Martínez. 2008. Evolución y perspectivas de la producción de maíz en el estado de Chiapas, México. II Seminario de cooperación y desarrollo en espacios rurales iberoamericanos sostenibilidad e indicadores. Disponible en: <<http://www.indirural.ual.es/docargas/docDescargas/II2-2.pdf>>. Fecha de consulta: marzo 2017.
- García, T.R. 1996. Los animales en los sistemas agroecológicos. ACAO. La Habana, Cuba. 100 p.
- Gebhardt, S.E., L.E. Lemar, P.R. Pehrsson, J. Exler, D.B. Haytowitz and B.A. Showell. 2007. USDA National Nutrient Database for Standard



Reference, Release 25. Disponible en: <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=17476>. Fecha de consulta: agosto 2016.

- Guevara-Hernández, F. 2007. ¿Y después qué?: action-research and ethnography on governance, actors and development in Southern México. Wageningen, the Netherlands. Editorial WUR. 223 p.
- Guevara, F., L.A. Rodríguez, J. Ovando, H. Gómez, M.D.J. Ocaña y T.C. Camacho. 2013. Implicaciones socioeconómicas y energéticas del uso y manejo de rastrojo en la región Frailesca, Chiapas. p. 37-91. *En*: Reyes L., T.C. Camacho y F. Guevara (1ª Ed.). Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. Aguascalientes: Editorial INIFAP.
- Guevara-Hernández, F., L.A. Rodríguez-Larramendi, M.A. Hernández-Ramos, M.A. Fonseca-Flores, R. Pinto Ruiz y L. Reyes-Muro. 2015. Eficiencia energética y económica del cultivo de maíz en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera "La Sepultura", Chiapas, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6(8):1929-1941.
- Hernández, C.N.A. 2011. Caracterización agronómica del maíz (*Zea mays* L.) con nutrición líquida y fuentes de materia orgánica. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma de Chiapas, Villaflores, Chiapas, México.
- Hernández Ramos, M.A., F. Guevara-Hernández, L.A. Rodríguez-Larramendi, M.A. 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. p. 130-150. *In*: Conde Flores A., P.A. Ortiz Báez, A. Delgado Rodríguez, F. Gómez Rábago (Coords.). Naturaleza-Sociedad: Reflexiones desde la complejidad. CIISDER: Centro de Investigaciones Interdisciplinarias sobre Desarrollo Regional. Universidad Autónoma de Tlaxcala. Tlaxcala, México.
- Ibrahim, H.Y. 2011. Energy use pattern in vegetable production under Fadama in North Central Nigeria. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14:1019-1024.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). 2009. Ahorro y eficiencia energética con agricultura de conservación. Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura. No. 12. Gobierno de España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. 56 p.
- Louman, B., D. Quiros y M. Nilson. 2001. Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Manual Técnico No. 46. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 265 p.
- Meul, M., F. Nevens, D. Reheul and G. Hofman. 2007. Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders. *Agric. Ecosyst. Environ.* 199:135.
- Mohammadi, A., A. Tabatabaefar, S. Shahin, S. Rafiee and A. Keyhani. 2008. Energy use and economic analysis of potato production in Iran, a case study: Ardabil province. *Energy Conv. Manage.* 49:3566-3570.
- Moradi, R., A. Koocheki, R. Ghorbani, F. Mondani and Y. Alizade. 2011. Pulses production systems in term of energy use efficiency and economical analysis in Iran. *International Journal of Energy Economics and Policy* 1(4):95-106.
- Moreno-Sáenz, L.I., S. González-Andrade y J.A. Matus-Gardea. 2017. Dependencia de México a las importaciones de maíz en la era del TLCAN. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7(1):115-126.
- Mousavi-Avval, S.H., S. Rafiee, A. Jafari and A. Mohammadi. 2011. Energy efficiency and cost analysis of canola production in different farm sizes. *International Journal of Energy and Environment* 2(5):845-852.
- Ocaña-Grajales, M. de 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, México.
- Pimentel, D., P. Hepperly, J. Hanson, D. Douds and R. Seidel. 2005. Environmental, energetic, and

- economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience* 55(7):573-582.
- Ramírez, O., A. Gutiérrez y L.E. Espinosa. 2014. Condiciones económicas de la producción del maíz en los municipios de Frontera Comalapa y La Trinitaria, Chiapas. *Debate Económico* 3(3):95-118.
- Ramírez-López, A., T. Désirée y M. Velasco-Misael. 2013. Factores de adopción y abandono del sistema de agricultura de conservación en los valles altos de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 10(2):195-214.
- Robles, B.H. 2010. The long term view: Comparing the result of Mexico's 1991 and 2007 agricultural censuses. *Subsidizing Inequality: Mexican Corn Policy Since NAFTA*. J. Fox and L. Haight. Mexico, Woodrow Wilson International Center for Scholars; Centro de Investigación y Docencia Económicas; University Of California, Santa Cruz. [En línea]. Disponible en: [https://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/Subsidizing\\_Inequality\\_Ch\\_9\\_Robles\\_Berlanga.pdf](https://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/Subsidizing_Inequality_Ch_9_Robles_Berlanga.pdf). Fecha de consulta: junio 2017.
- Sánchez, P. y O. Romero. 2017. Combustibles fósiles y CO<sub>2</sub> en sistemas de milpa tradicional y maíz en monocultivo en Tlaxcala, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(8):919-932.
- Torres, M., K. Paz y F. Salazar. 2006. Tamaño de una muestra para una investigación de mercado. *Boletín electrónico* No. 02. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Landívar. Guatemala. Disponible en: <http://www.ru.tic.unam.mx:8080/tic/bitstream/handle/123456789/1428/778.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Fecha de consulta: septiembre 2017.
- Valerio, D., A. García, R. Acero, A. Castaldo, J.M. Perea y J. Martos. 2004. Metodología para la caracterización y tipificación de sistemas ganaderos. Documentos de trabajo Departamento de Producción Animal y Gestión. Universidad de Córdoba. ISSN: 1698-4226 DT 1. Vol. 1.
- Ysunza, M. 2001. Escenario futuro de la agricultura en México: un referente para el perfil del Ingeniero Agrónomo. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* 2(2):31-42.
- Zuliani, P., S. Bramardi, A. Lavalle y R. Defacio. 2012. Caracterización de poblaciones nativas de maíz mediante análisis de procrustes generalizado y análisis factorial múltiple. *Rev. FCA Uncuyo*. 44(1):49-64.