

Combustibles fósiles y CO₂e en sistemas de milpa tradicional y maíz en monocultivo en Tlaxcala, México*

Fossil fuels and CO₂e in traditional milpa and monoculture maize systems in Tlaxcala, Mexico

Primo Sánchez-Morales¹ y Omar Romero-Arenas^{1§}

¹Centro de Agroecología-Instituto de Ciencias-Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). 14 sur 6301. Ciudad Universitaria, Puebla, Puebla. CP. 72570. Tel. 01(222) 229550. [§]Autor para correspondencia: biol.ora@hotmail.com.

Resumen

Se realizó un estudio comparativo entre dos sistemas de manejo en la producción de maíz en Tlaxcala: sistema milpa tradicional (SMT) *versus* el sistema de maíz en monocultivo (SMo). El objetivo fue conocer la cantidad de energía de origen fósil que se emplea durante el proceso de producción y la emisión de dióxido de carbono equivalente (CO₂e). Se estimó la eficiencia de cada sistema y la emisión del principal gas de efecto invernadero (GEI). Para generar información primaria se aplicó una metodología mixta: se realizó entrevista semiestructurada con 20 productores y se calculó un tamaño de muestra para la aplicación de encuesta a partir de datos del programa Proagro Productivo 2014, donde N= 29 828 y n= 379. Después de la colecta de información, se elaboró una base de datos en Excel, se codificó y procesó con el programa SPSS-16. Los resultados evidencian que el mayor gasto de energéticos fósiles en ambos grupos se da en la cosecha y es menor en labores culturales. Sin embargo, en este rubro el gasto de energía derivada de petróleo es dos veces mayor en el SMo. Además, el gasto de energéticos calculado y la emisión de CO₂e son 30.8% mayor en el SMo *versus* el SMT para la misma proporción de maíz producido en cada sistema. Se concluyó que a pesar de que el SMT

Abstract

A comparative study was carried out between two management systems in maize production in Tlaxcala: traditional milpa system (SMT) *versus* monoculture maize system (SMo). The objective was to determine the amount of fossil fuel energy that is used during the production process and the emission of carbon dioxide equivalent (CO₂e). The efficiency of each system and the emission of the main greenhouse gas (GHG) was estimated. To generate primary information, a mixed methodology was applied: a semi-structured interview was conducted with 20 producers and a sample size for the survey application was calculated from data from the Proagro Productivo 2014 program, where N= 29 828 and n= 379. After collecting the information, a database was prepared in Excel, coded and processed with the SPSS-16 program. The results show that the highest expenditure of fossil energy in both groups occurs during the harvest and is lower in tillage tasks. However, in this item the energy expenditure derived from oil is twice as great in the SMo. Moreover, energy expenditure calculated and CO₂e emission are 30.8% higher in the SMo *versus* the SMT for the same amount of maize produced in each system. It

* Recibido: enero de 2017
Aceptado: marzo de 2017

requiere mayor cantidad de mano de obra y fuerza de tracción animal, es más eficiente en el uso de energéticos de origen fósil y las emisiones de GEI calculados son menores.

Palabras clave: agricultura, eficiencia, energía, productividad.

Introducción

El maíz es el cereal que más se cultiva en el mundo, la producción en 2014 fue de 982 millones de toneladas métricas (tm) a nivel mundial (USDA, 2014; IGC, 2015). En México, es el grano que más se destina para consumo humano y se calcula que en promedio se consumen 343 g por día per cápita (CEDRSSA, 2014). El frijol es un grano que a nivel global tiene menor importancia que el maíz, pues acorde a la USDA, durante 2014 se cosecharon alrededor de 16 millones tm, pero en México su importancia para el consumo humano es mayor, calculándose 11 kg anuales per cápita, aunque en zonas rurales y en estratos de menores ingresos se incrementa a más de 13 kg (SE, 2012).

El maíz en México tradicionalmente se cultivaba asociado con algún tipo de frijol enredador y calabaza, ocasionalmente también se asociaban chile y tomate entre otros. A este tipo de policultivo se le conoce como sistema milpa tradicional (SMT) y es considerado como una alternativa viable que combina ingeniosas prácticas campesinas e indígenas e integra productos para la diversificación de la dieta. Además, la Food and Agriculture Organization (FAO) lo reconoce como Sistema Importante del Patrimonio Agrícola Mundial (FAO, 2011). De acuerdo a Hernández y Aguirre (1998), la agricultura tradicional se caracteriza por aprovechar mejor los recursos locales, se produce más para autoconsumo y es de baja entropía. Cada vez se siembran menos policultivos, debido a la aplicación del paquete tecnológico de la Revolución Verde (RV), diseñado en México desde los años 40's del siglo pasado e implementado en los 60's (Hewitt, 1985).

Actualmente, la principal forma de cultivo de maíz es en monocultivo (SMo) con algunas consecuencias negativas hacia los suelos como los altos niveles de erosión, la pérdida de fertilidad, la contaminación de mantos acuíferos y en general al ambiente; debido a las formas intensivas de producción agroindustrial en el país. El paquete tecnológico de la RV ha fomentado mucha dependencia de pesticidas,

was concluded that although the SMT requires more labor and animal traction force, it is more efficient in the use of fossil energy and the calculated GHG emissions are lower.

Keywords: agriculture, efficiency, energy, productivity.

Introduction

Maize is the world's most widely grown cereal, production in 2014 was 982 million metric tons (tm) worldwide (USDA, 2014; IGC, 2015). In México, it is the grain that is most intended for human consumption and it is estimated that on average 343 g per day per capita (CEDRSSA, 2014) are consumed. Beans are a grain that globally has less importance than maize, according to the USDA, during 2014 were harvested about 16 million tm, but in México its importance for human consumption is higher, with an estimated of 11 kg per capita at year, although in rural areas and in lower income strata it increases to more than 13 kg (SE, 2012).

Maize in México was traditionally cultivated in association with some type of bean and squash, occasionally also associated with chili pepper and tomato among others. This type of polyculture is known as the traditional milpa system (SMT) and is considered as a viable alternative that combines ingenious peasant and indigenous practices and integrates products for diet diversification. In addition, the Food and Agriculture Organization (FAO) recognizes it as an Important System of World Agricultural Heritage (FAO, 2011). According to Hernández and Aguirre (1998), traditional agriculture is characterized by better use of local resources, is produced more for self-consumption and is low-entropy. Less polycultures are being sown, due to the application of the Green Revolution (RV) technological package, designed in México from the 40's of the last century and implemented in the 60's (Hewitt, 1985).

Currently, the main form of maize cultivation is monoculture (SMo) with some negative consequences for soils such as high erosion levels, fertility loss, aquifers contamination and in general to the environment; due to the intensive forms of agroindustrial production in the country. The technological RV package has fostered a great dependence on pesticides, seeds, machinery and equipment produced by large transnational corporations through techno-scientific systems (Álvarez-Buylla, 2013).

semillas, maquinaria y equipo que producen las grandes empresas transnacionales a través de sistemas tecnológicos (Álvarez-Buylla, 2013).

Este modelo hegemónico de producción, implica altos costos del paquete tecnológico que no son accesibles para campesinos e indígenas y que utilizan grandes cantidades de combustibles fósiles en la producción y aplicación de agroquímicos, así como en la fabricación y operación de maquinarias y equipos agrícolas como tractores, combinadas, empacadoras, segadoras, etc. Se consumen las reservas de combustibles no renovables, propician la producción de biocombustibles a partir de alimentos humanos y generan grandes cantidades de GEI que, de acuerdo al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), la agricultura es responsable de 14% de las emisiones globales de GEI, aunque si se contabiliza la fabricación de maquinaria, agroquímicos y su uso, la proporción rebasa 30% de emisiones globales en el sector agrícola (Martínez y Fernández, 2008; Bermejo, 2010; IPCC, 2013).

Varios autores como Altieri (1999); Altieri y Nichols (2000); Gliessman (2002); Pimentel y Pimentel (2005); Damián *et al.* (2013); entre otros, coinciden en que los agroecosistemas modernos se han vuelto en los años recientes a la intensificación en el uso de energía de origen fósil, y que dependen de dos flujos energéticos principales: el natural que corresponde a la energía solar y un flujo auxiliar controlado por el agricultor a través del uso de combustibles fósiles básicamente, ya sea de forma directa o indirecta. Los energéticos fósiles corresponden a un tipo de energía "almacenada", su existencia es finita, relativamente costosa y, generalmente, no es amigable con el ambiente, debido a que su uso origina contaminación a través de la emisión de diversos gases perjudiciales, entre estos el CO₂ por sus efectos de GEI (Pimentel y Pimentel, 2005). El objetivo de este trabajo, fue conocer la eficiencia del uso de energéticos fósiles en el SMT y SMO y la emisión derivada de GEI para el estado de Tlaxcala, México.

Materiales y métodos

El estado de Tlaxcala se ubica en el altiplano central mexicano entre 19° 44"-19° 06" latitud norte y 97° 37"-98° 44" longitud oeste, a una altitud media de 2 230 m. Colinda al suroeste, sur, este y una sección del norte con el estado de Puebla; al norte y noroeste con el estado de Hidalgo y en una

This hegemonic production model implies high costs of the technological package that are not accessible to peasants and indigenous people and use large amounts of fossil fuels in the production and application of agrochemicals, as well as in the manufacture and operation of agricultural machinery and equipment such as tractors, combine harvesters, balers, mowers, etc. Non-renewable fuel reserves are consumed, propitiating the production of biofuels from human food and generating large amounts of GHG which, according to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), agriculture accounts for 14% of Global emissions of GHG, although if the manufacture of machinery, agrochemicals and their use are taken into account the proportion exceeds 30% of global emissions in the agricultural sector (Martínez and Fernández, 2008; Bermejo, 2010; IPCC, 2013).

Several authors like Altieri (1999); Altieri and Nichols (2000); Gliessman (2002); Pimentel and Pimentel (2005); Damian *et al.* (2013); among others, agree that modern agroecosystems have in recent years intensified the use of energy of fossil origin, that depend on two main energy flows: the natural one that corresponds to solar energy and an auxiliary flow controlled by the farmer through the use of fossil fuels, basically, either directly or indirectly. Fossil energy sources correspond to a type of "stored" energy, its existence is finite, relatively expensive and generally not environmentally friendly, because its use causes pollution through the emission of various harmful gases, CO₂ among them for its GHG effects (Pimentel and Pimentel, 2005). The objective of this research was to know the efficiency of fossil energy use in SMT and SMO and the emission derived from GHG for the state of Tlaxcala, México.

Materials and methods

The state of Tlaxcala is located in the central Mexican plateau between 19° 44"-19° 06" north latitude and 97° 37"-98° 44" west longitude, at an average altitude of 2 230 m. It borders to the southwest, south, east and a north section with the state of Puebla; to the north and northwest with the state of Hidalgo and in a small strip of the northwest with the state of México. It is the smallest entity in the country; is divided into 60 municipalities, it has an area of 3 997 km² and in 2010 there were 1 169 936 inhabitants, of which 20% were located in rural areas (INEGI, 2010). The climate is temperate sub-humid C(w)

pequeña franja del noroeste con el estado de México. Es la entidad más pequeña del país; se divide en 60 municipios, tiene una extensión de 3 997 km² y en 2010 tenía 1 169 936 habitantes, de los cuales 20% se ubicaban en zonas rurales (INEGI, 2010). El clima es templado subhúmedo C(w) en 92% del territorio; la temperatura media anual de 14.5 °C y la precipitación media anual de 720 mm con lluvias en verano.

Para obtener información primaria se empleó una metodología mixta a través de la encuesta y la entrevista semiestructurada. En la encuesta, se partió de datos del programa federal Proagro Productivo de 2014 para Tlaxcala. El universo de beneficiarios productores de maíz fue de 29 828 (N) (Proagro Productivo, 2014). Se calculó el tamaño de muestra con valores de varianza máxima; precisión de 5%; valor de la distribución normal de 1.96; probabilidad de error de 5%; y nivel de confianza de 95%. Se utilizó la siguiente fórmula.

$$n = \frac{NZ^2 p \cdot q}{NE^2 + Z^2 p \cdot q}$$

Se realizaron los cálculos para determinar el tamaño de muestra $n = 379$ y se eligió al azar a igual número de maiceros para aplicación de la encuesta. Con los datos recabados se clasificó a los productores en dos sistemas de interés para este trabajo, quedando de la siguiente manera: 1) SMT $n\mu = 59$; y 2) SMO $n\mu = 320$. También se realizaron 20 entrevistas semiestructuradas a informantes clave para corroborar y complementar la información de la encuesta. Luego, se vaciaron y ordenaron los datos en Excel para Windows, se codificaron y analizaron en el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 16.

Para obtener los datos del consumo de combustibles en cada sistema, se generó la información de productores en cada grupo que emplean maquinaria y equipo para labores de preparación de suelos, siembra, labores culturales y cosecha. A la vez se entrevistó a dueños de tractores y máquinas para saber cuántos litros de combustible requieren para cada labor. Esos datos se convirtieron a Mega Joules (MJ) de energía empleada. La conversión se realizó dependiendo el tipo de energético utilizado: en diésel, los litros calculados se multiplicaron por 36.7 para convertir a MJ; para gasolina, el factor de conversión fue 32 y para la electricidad 3.6 MJ kW⁻¹ h⁻¹. Posteriormente, se sumaron los datos parciales para conocer el consumo total de energía fósil y se calculó el CO₂e, para lo cual se estimó primero la cantidad de CO₂, CH₄ y N₂O generados por la ignición del combustible fósil, enseguida se multiplicaron por 21 y 310 respectivamente los datos

in 92% of the territory; the annual average temperature is 14.5 °C and the average annual rainfall is 720 mm with summer rains.

In order to obtain primary information, a mixed methodology was used through the survey and semi-structured interview. In the survey, data from the Federal Proagro Productive program of 2014 for Tlaxcala was used. The universe of beneficiaries producing maize was 29 828 (N) (Proagro Productivo, 2014). The sample size was calculated with maximum variance values; accuracy of 5%; value of the normal distribution of 1.96; probability of error of 5%; and 95% confidence level. The following formula was used.

$$n = \frac{NZ^2 p \cdot q}{NE^2 + Z^2 p \cdot q}$$

Calculations were performed to determine the sample size $n = 379$ and an equal number of maize producers were chosen randomly for the application of the survey. With the collected data the producers were classified in two systems of interest for this paper, being as follows: 1) SMT $n\mu = 59$; and 2) SMO $n\mu = 320$. Twenty semi-structured interviews were also conducted with key informants to corroborate and supplement the survey information. Then captured and sorted in Excel for Windows, coded and analyzed in the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) version 16 program.

To obtain data on fuel consumption in each system, information was generated from producers in each group who used machinery and equipment for soil preparation, planting, till work and harvesting. Simultaneously owners of tractors and machines were interviewed to know how many liters of fuel they require for each job. These data were converted to Mega Joules (MJ) of energy used. The conversion was made depending on the type of energy used: in the case of diesel, the calculated liters were multiplied by 36.7 to convert to MJ; for gasoline, the conversion factor was 32 and for electricity 3.6 MJ kW⁻¹ h⁻¹. Subsequently, the partial data were added to meet the total consumption of fossil energy and then CO₂e was calculated, first calculating the amount of CO₂, CH₄ and N₂O generated by ignition of fossil fuel, then multiplied by 21 and 310 respectively data on CH₄ and N₂O to calculate CO₂e and based on one hundred years. Finally this data was added to the calculated amount of CO₂ (Pimentel and Dazhong, 1990). In order to calculate the total fossil energy, the following formula was used.

relativos a CH₄ y N₂O para calcular el CO₂e con base a cien años. Finalmente se sumó este dato a la cantidad calculada de CO₂ (Pimentel y Dazhong, 1990). Con la finalidad de calcular la energía fósil total se empleó la siguiente fórmula:

$$ef_{\text{Total}} = ef_{\text{prep}} + ef_{\text{siembra}} + ef_{\text{labcul}} + ef_{\text{cosecha}}$$

Donde: ef_{Total} = energía fósil total calculada; ef_{prep} = energía fósil empleada en la preparación de suelos; ef_{siembra} = energía fósil utilizada para actividades relacionadas con la siembra; ef_{labcul} = energía fósil para labores culturales (escarda, labra, asegunda, fertilización y fumigación); ef_{cosecha} = energía fósil empleada para cosecha de grano y zacate.

A la vez, se planteó una fórmula para calcular el combustible utilizado y la energía derivada para cada una de las fases del ciclo agrícola por hectárea. A continuación se desarrolla la fórmula empleada para calcular energéticos fósiles utilizados en la preparación de suelos.

$$ef_{\text{prep}} = \frac{\text{Barbecho}}{n\mu} + \frac{\text{Rastra}}{n\mu}$$

Donde: ef_{prep} = energía fósil calculada para preparación de suelos; $n\mu$ = tamaño de estrato (aplica para todas las fórmulas parciales); barbecho = número de productores que barbechan (multiplicado por 14.3 L ha⁻¹); rastra = número de productores que rastrean (multiplicado por 8 L ha⁻¹).

Para calcular energía utilizada en actividades relacionadas con la siembra, se aplicó la siguiente.

$$ef_{\text{siembra}} = \frac{\text{Surcado con tractor}}{n\mu} + \frac{\text{Siembra con tractor}}{n\mu}$$

Donde: ef_{siembra} = energía fósil utilizada para la siembra; surcado con tractor = número de productores que surcan con tractor (multiplicado por 7 L ha⁻¹); siembra con tractor = número de productores que siembran con tractor (multiplicado por 8 L ha⁻¹).

La fórmula planteada para calcular energía utilizada para labores culturales es la siguiente.

$$ef_{\text{labcul}} = \frac{\text{Fertilización}}{n\mu} + \frac{\text{Escarda}}{n\mu} + \frac{\text{Labra}}{n\mu} + \frac{\text{Asegunda}}{n\mu} + \frac{\text{Fumigación}}{n\mu}$$

Donde: ef_{labcul} = energía fósil calculada para fertilización, labores culturales y fumigación; fertilización = número de productores que fertilizan con tractor (multiplicado por

$$ef_{\text{Total}} = ef_{\text{prep}} + ef_{\text{sowing}} + ef_{\text{tilwor}} + ef_{\text{harvest}}$$

Where: ef_{Total} = calculated total fossil energy; ef_{prep} = fossil energy used in soil preparation; ef_{sowing} = fossil energy used for sowing activities; ef_{tilwor} = fossil energy for tilling work (weeding, tillage, asegunda, fertilization and fumigation); ef_{harvest} = fossil energy used to harvest grain and grass.

At the same time, a formula was used to calculate the fuel used and the energy derived for each of the phases of the agricultural cycle per hectare. The following formula is used to calculate fossil fuels used in soil preparation.

$$ef_{\text{prep}} = \frac{\text{Barbecho}}{n\mu} + \frac{\text{Dredge}}{n\mu}$$

Where: ef_{prep} = calculated fossil energy for soil preparation; $n\mu$ = Stratum size (applies to all partial formulas); barbecho = number of producers fallow (multiplied by 14.3 L ha⁻¹); dredge = number of producers that track (multiplied by 8 L ha⁻¹).

To calculate the energy used in activities related to planting, the following was applied.

$$ef_{\text{sowing}} = \frac{\text{Furrowing with tractor}}{n\mu} + \frac{\text{Seeding with tractor}}{n\mu}$$

Where: ef_{sowing} = fossil energy used for planting; Furrowing with tractor = number of producers that furrows with tractor (multiplied by 7 L ha⁻¹); seeding with tractor = number of producers who sow with tractor (multiplied by 8 L ha⁻¹).

The formula used to calculate energy used for tilling work is the following.

$$ef_{\text{tilwor}} = \frac{\text{Fertilization}}{n\mu} + \frac{\text{Escarda}}{n\mu} + \frac{\text{Labra}}{n\mu} + \frac{\text{Asegunda}}{n\mu} + \frac{\text{Fumigation}}{n\mu}$$

Where: ef_{tilwor} = fossil energy calculated for fertilization, cultivation and spraying; fertilization = number of producers who fertilized with tractor (multiplied by 3 L ha⁻¹); escarda = number of producers weeding with tractor (multiplied by 7 L ha⁻¹); labra = number of producers tilling with tractor (multiplied by 7 L ha⁻¹); asegunda = number of producers asegundan with tractor (multiplied by 7 L ha⁻¹); fumigation = number of producers fumigating with tractor (multiplied by 3 L ha⁻¹ or, if gasoline engine sprayer was used it was multiplied by 2 L ha⁻¹).

3 L ha⁻¹); escarda= número de productores que escardan con tractor (multiplicado por 7 L ha⁻¹); labra= número de productores que labran con tractor (multiplicado por 7 L ha⁻¹); Asegunda= número de productores que asegundan con tractor (multiplicado por 7 L ha⁻¹); fumigación= número de productores que fumigan con tractor (multiplicado por 3 L ha⁻¹, o en su caso, si emplean aspersor de motor a gasolina se multiplica por 2 L ha⁻¹).

Fórmula planteada para calcular energía utilizada para cosecha de grano y zacate seco.

$$ef_{\text{cosecha}} = \frac{\text{Combinada}}{n\mu} + \frac{\text{Empacadora}}{n\mu} + \frac{\text{Desgran a gasolina}}{n\mu} + \frac{\text{Flete}}{n\mu} + \frac{\text{Desgran eléc}}{n\mu}$$

Donde: ef_{cosecha} = energía fósil empleada para transporte y cosecha de grano y zacate; combinada= número de productores que cosechan con combinada (multiplicado por 35 L ha⁻¹); empacadora= número de productores que empacan zacate seco (multiplicado por 20 L ha⁻¹); desgran a gasolina= productores que usan desgranadora a gasolina (multiplicado por 1.8 h ha⁻¹ y por 2 L gasolina h⁻¹); flete= productores que transportan la cosecha (multiplicado por 20 L de gasolina); desgran eléc= productores que usan desgranadora eléctrica (multiplicado por 1.8 h ha⁻¹ y 1.5 kW h⁻¹).

Además, se aplicó la prueba de t de student para muestras independientes a los valores respecto a la cantidad de combustible por cada conjunto de actividades agrícolas en los dos sistemas (SMT y SMO). En este proceso, primeramente se realizó la prueba de Normalidad de Kolmogorov-Smirnova debido a que las muestras son mayores de 30 unidades en cada grupo con un valor de $\alpha \leq 0.05$. Una vez comprobado que los datos de ambos grupos se comportan dentro de la Normalidad, se procedió a aplicar la prueba de igualdad de varianzas (prueba de Levené) para posteriormente aplicar la prueba de significancia bilateral.

Resultados y discusión

Sistema milpa tradicional (SMT)

El SMT es un policultivo que tiene diversas variantes de acuerdo a condiciones biofísicas y culturales. Para el caso de Tlaxcala, se encontraron varios tipos de asociaciones, en

Formula raised to calculate energy used for harvesting grain and dry grass.

$$ef_{\text{harvest}} = \frac{\text{Combinada}}{n\mu} + \frac{\text{Empacadora}}{n\mu} + \frac{\text{Desgran a gasolina}}{n\mu} + \frac{\text{Flete}}{n\mu} + \frac{\text{Desgran elec}}{n\mu}$$

Where: ef_{harvest} = fossil energy used to transport and harvest grain and grass; combinada= number of producers harvesting with combined (multiplied by 35 L ha⁻¹); empacadora= number of producers who packaged its dry grass (multiplied by 20 L ha⁻¹); desgran a gasolina= producers using gasoline shelling machine (multiplied by 1.8 h ha⁻¹ and by 2 L gasoline ha⁻¹); flete= producers who transport their harvest (multiplied by 20 L of gasoline); desgran elec= producers using electric sheller (multiplied by 1.8 h ha⁻¹ and 1.5 kW h⁻¹).

In addition, the Student's t-test for independent samples was applied to the values for the fuel quantity for each set of agricultural activities in the two systems (SMT and SMO). In this process, the Kolmogorov-Smirnova Normality test was first performed because the samples were larger than 30 units in each group with a value of $\alpha \leq 0.05$. Once verified that the data of both groups behave within Normality, we proceeded to apply the test of equality of variance (Levené test) to later apply the bilateral significance test.

Results and discussion

Traditional milpa system (SMT)

The SMT is a polyculture that has different variants according to biophysical and cultural conditions. In the case of Tlaxcala, various types of associations were found in all of them, maize (*Zea mays* L.) with one or more of the following species and varieties: beans (*Phaseolus vulgaris* L.); ayocote (*Phaseolus coccineus* L.); broad bean (*Vicia faba*); and pumpkin (*Cucurbita* sp). The SMT is a result of the preservation of traditional Mesoamerican practices that, in this zone, receives different names like "milpa" or "Traditional Milpa System" (Sánchez and Castro, 2011; Sánchez and Hernández, 2014). The SMT ranked 20% of the total producers surveyed (59 people); however, only 5% are peasants who were found at random, the rest were placed in a targeted manner, due to the low proportion of peasants still planting milpa.

todas, el maíz (*Zea mays* L.) con una o más de las siguientes especies y variedades: frijol (*Phaseolus vulgaris* L.); ayocote (*Phaseolus coccineus* L.); haba (*Vicia faba*); y calabaza (*Cucurbita* sp). El SMT es resultado de la conservación de prácticas tradicionales mesoamericanas que recibe diversos nombres como “milpa” o “Sistema Milpa Tradicional” (Sánchez y Castro, 2011; Sánchez y Hernández, 2014). En el SMT se ubicó 20% del total de productores encuestados (59 personas); sin embargo, el 5% son campesinos encontrados al azar, el resto se ubicaron de manera dirigida, debido a la baja proporción de campesinos que aún siembra milpa.

La edad de los productores de este grupo varía de 35 a 86 años (con media y mediana de 58 años), poseen en promedio 3.7 ha, aunque el rango fluctúa entre 0.5 y 9 ha. El grupo de encuestados está conformado por 14% de mujeres y el resto son hombres. En general, la escolaridad media es de cinco años, y 6.8% del total no saben leer ni escribir. Además, 28% de productores tienen otro trabajo para la generación de ingresos complementarios y, el promedio de integrantes por familia es de cinco, aunque 57% de familias se conforman de dos a cuatro personas y el resto lo integran de cinco a 11.

Preparación de suelo

De acuerdo a la información recabada, para preparar el suelo antes de la siembra se realiza barbecho y rastra, dependiendo de las condiciones económicas de los productores. Ocasionalmente no se barbecha, por el alto costo de esta actividad y solo se rastrea; en otros casos, se realizan hasta dos barbechos y tres o cuatro rastras previo a la siembra cuando el productor tiene tractor propio. Para barbecho el costo de la renta de tractor oscila entre \$600.00 y \$1 200.00 ha⁻¹, y para rastra de \$400.00 a \$1 200.00 ha⁻¹ dependiendo de la región del estado. La proporción de productores que barbecha con tractor es 57.6%, mientras que 76.4% rastrea una vez y 8.3% rastrea dos veces. Para calcular la cantidad de combustible usado en la preparación de suelo, se empleó un factor de 36.7 para convertir los litros de diésel (Ld) a MJ.

$$ef_{\text{prepSMT}} = \frac{(34)(14.3 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} + \frac{(45)(8 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} = 14.34 \text{ Ld ha}^{-1}(36.7) = 526.3 \text{ MJ ha}^{-1}$$

Siembra

Aquí se ubicaron dos posibilidades en el uso del tractor: a través del surcado (para posteriormente sembrar de forma manual a pala, a tapapié o con sembradora de yunta)

The age of the producers of this group varies from 35 to 86 years (with average and median of 58 years), they possess on average 3.7 ha, although the range fluctuates between 0.5 and 9 ha. The group of respondents is made up of 14% women and the rest are men. In general, average schooling is almost five years, and 6.8% of the total do not know how to read or write. In addition, 28% of producers have another job for the generation of complementary income, and the average number of members per family is five, although 57% of families are made up of two to four people and the rest are made up of five to 11.

Soil preparation

According to the collected information, in order to prepare the soil before sowing, fallow and dredge are basically carried out, depending on the economic conditions of the producers. Occasionally dredge is not carried out, due to its high costs and soil is only traced; in other cases, up to two dredges and three or four pre-sowing trawls are carried out when the producer has his own tractor. For dredging the rental cost of tractor varies between \$600.00 and \$1 200.00 ha⁻¹, and for harrow \$400.00 to \$1 200.00 ha⁻¹ varying on every State region. The proportion of producers that dredge with tractor is 57.6%, while 76.4% harrows once and 8.3% twice. To calculate the amount of fuel used in the soil preparation, a factor of 36.7 was used to convert the liters of diesel (Ld) to MJ.

$$ef_{\text{prepSMT}} = \frac{(34)(14.3 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} + \frac{(45)(8 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} = 14.34 \text{ Ld ha}^{-1}(36.7) = 526.3 \text{ MJ ha}^{-1}$$

Sowing

Here two possibilities were placed in the use of tractor: through the furrow (to later plant using shovel, a tapapié or a yunta planter) and planting with tractor equipment. In the SMT 40.7% of producers use tractor for furrowing; 45.7% planted with yunta seeder and 13.6% used tractor seeder. By replacing the data in the formula the following results were obtained.

$$ef_{\text{sowingSMT}} = \frac{(24)(7 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} + \frac{(8)(8 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} = 3.94 \text{ Ld ha}^{-1}(36.7) = 144.6 \text{ MJ ha}^{-1}$$

Tillage work

In this area the fertilization, weeding, tillage, segunda and fumigation were considered. In the SMT only four producers fertilize with tractor at the time of sowing. In addition,

y siembra con equipo para tractor. En el SMT 40.7% de productores surcan con tractor; 45.7% siembran con sembradora de yunta y 13.6% usan sembradora de tractor. Al sustituir los datos en la fórmula planteada se obtuvieron los siguientes resultados.

$$e_{\text{siembraSMT}} = \frac{(24)(7 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} + \frac{(8)(8 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} = 3.94 \text{ Ld ha}^{-1}(36.7) = 144.6 \text{ MJ ha}^{-1}$$

Labores culturales

En este rubro se consideraron la fertilización, escarda, labra, segunda y fumigación. En el SMT solo cuatro productores fertilizan con tractor en el momento de la siembra. Además, 11.9% de campesinos escardan, 8.5% labran y 15.3% asegundan con tractor; el resto usa yunta y algunos no realizan estas labores. Finalmente, 11.9% aplican algún insecticida; no obstante, solo 3.4% usan aspersor de motor a gasolina y el resto, mochila manual. Para convertir los litros de gasolina (Lg) a MJ, se calculó con un factor de 32.

$$e_{\text{labculSMT}} = \frac{7(7 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} + \frac{5(7 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} + \frac{9(7 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} + \frac{2(2 \text{ Lg ha}^{-1})}{59} = (2.49 \text{ Ld ha}^{-1})(36.7) + (0.07 \text{ Lg ha}^{-1})(32) = 93.62 \text{ MJ ha}^{-1}$$

Cosecha

En el SMT, la proporción de productores que usan combinada es de 6.8% y 94.9% muele o trilla su zacate, con el propósito de venderlo o guardarlo para su ganado. En estas actividades el combustible utilizado fue diésel. La proporción de campesinos que desgranó con máquinas a gasolina fue 28.8% y 83% empleó flete. Finalmente, los productores que usan máquina desgranadora de motor eléctrico representan 8.5%. La energía calculada se muestra a continuación.

$$e_{\text{cosechaSMT}} = \frac{4(35 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} + \frac{56(20 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} + \frac{17(3.6 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} + \frac{49(20 \text{ Lg ha}^{-1})}{59} + \frac{5(1.8 \text{ h ha}^{-1})(1.5 \text{ kW h}^{-1})}{59} = (2.37 + 19 \text{ Ld ha}^{-1})(36.7) + (1.04 + 16.61 \text{ Lg ha}^{-1})(32) + (0.23 \text{ kW ha}^{-1})(3.6 \text{ MJ}) = 1349.9 \text{ MJ ha}^{-1}$$

Con estos resultados se calculó la energía total utilizada por hectárea en el SMT, quedando como sigue:

$$e_{\text{TotalSMT}} = 526.3 \text{ MJ ha}^{-1} + 144.6 \text{ MJ ha}^{-1} + 93.62 \text{ MJ ha}^{-1} + 1349.9 \text{ MJ ha}^{-1} = 2114.42 \text{ MJ ha}^{-1}$$

11.9% of peasants weed, 8.5% worked the soil and 15.3% asegundan with tractor; the rest use yunta and some do not perform these tasks. Finally, 11.9% apply some insecticide; however, only 3.4% use gasoline engine sprinkler and the rest, manual backpack. To convert the liters of gasoline (Lg) to MJ, it was calculated with a factor of 32.

$$e_{\text{tilworSMT}} = \frac{7(7 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} + \frac{5(7 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} + \frac{9(7 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} + \frac{2(2 \text{ Lg ha}^{-1})}{59} = (2.49 \text{ Ld ha}^{-1})(36.7) + (0.07 \text{ Lg ha}^{-1})(32) = 93.62 \text{ MJ ha}^{-1}$$

Harvest

In the SMT, the proportion of producers that use combined is 6.8% and 94.9% grind or threshes their grass, for the purpose of selling or saving it for their livestock. In these activities the fuel used was diesel. The proportion of peasants that threshed with gasoline machines was 28.8% and 83% used freight. Finally, producers using electric motor thresher represent 8.5%. The calculated energy is shown below.

$$e_{\text{harvestSMT}} = \frac{4(35 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} + \frac{56(20 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} + \frac{17(3.6 \text{ Ld ha}^{-1})}{59} + \frac{49(20 \text{ Lg ha}^{-1})}{59} + \frac{5(1.8 \text{ h ha}^{-1})(1.5 \text{ kW h}^{-1})}{59} = (2.37 + 19 \text{ Ld ha}^{-1})(36.7) + (1.04 + 16.61 \text{ Lg ha}^{-1})(32) + (0.23 \text{ kW ha}^{-1})(3.6 \text{ MJ}) = 1349.9 \text{ MJ ha}^{-1}$$

With these results the total energy used per hectare in the STM was calculated, being as follows.

$$e_{\text{TotalSMT}} = 526.3 \text{ MJ ha}^{-1} + 144.6 \text{ MJ ha}^{-1} + 93.62 \text{ MJ ha}^{-1} + 1349.9 \text{ MJ ha}^{-1} = 2114.42 \text{ MJ ha}^{-1}$$

The results show that 2114.42 MJ ha⁻¹ are used, corresponding to 57.62 liters of diesel equivalent (Lde) per hectare among members of the SMT. Harvested dry biomass (BSC) was calculated by adding the yield per hectare of maize, bean and pumpkin seed, dry maize grass, bean and pumpkin thatch. Maize yield was 978 kg ha⁻¹ and 140 pieces of bales per hectare (21354 kg each). The average BSC was 5638 kg ha⁻¹, and 29.13 Lde are used to produce a tm of maize. With these data direct emissions were calculated, and the result for the SMT was 163.3 kg of CO_{2e} ha⁻¹.

Maize monoculture system (SMo)

In the SMo only maize is sown. In this way, the crop conditions for the mechanization in terms of planting, tillage tasks, irrigation, herbicides application and harvest

Los resultados muestran que se utilizan 2 114.42 MJ ha⁻¹ que corresponde a 57.62 litros de diésel equivalente (Lde) por hectárea entre los integrantes del SMT. Se calculó la biomasa seca cosechada (BSC) sumando el rendimiento por hectárea de maíz, frijol y semilla de calabaza, zacate seco de maíz, paja de frijol y de calabaza. El rendimiento de maíz fue de 1 978 kg ha⁻¹ y de pacas 140 piezas por hectárea (de 21.354 kg cada una). El promedio de la BSC fue 5 638 kg ha⁻¹, y se emplean 29.13 Lde para producir una tm de maíz. Con estos datos se calculó las emisiones directas, y el resultado para el SMT fue de 163.3 Kg de CO₂e ha⁻¹.

Sistema de maíz en monocultivo (SMo)

En el SMo el maíz se siembra sólo. De esta manera, se adecúan las condiciones del cultivo para la mecanización en lo referente a siembra, labores culturales, riego, aplicación de herbicidas y cosecha. Esta forma de cultivo es resultado del paquete tecnológico de la RV. En este grupo se ubicó a 80% de productores muestreados en el estado de Tlaxcala (320 personas), con un rango de edad que va de 23 a 93 años y una media de 62 años. La cantidad de tierra que cultivan es de 5.5 ha en promedio; sin embargo, el rango fluctúa entre 0.5 y 60 ha. De las personas encuestadas, 15% son mujeres; el nivel de analfabetismo es de 6.2% y cada familia tiene cinco integrantes en promedio. Las prácticas realizadas se mencionan a continuación.

Preparación de suelo

La proporción de campesinos que barbechan con tractor es 85.3%, y 6.9% no barbechan por los altos costos que implica. En el caso de la rastra, cuando estas actividades se realizan con yunta, los campesinos le llaman “contlapanear”; ocasionalmente se contlapanéa al momento de cosechar y luego antes de sembrar, incluso, se hace pasar una biga para deshacer los terrones y sellar el suelo para que no pierda mucha humedad. En este grupo 8.8% rastrea con yunta y 90.9% utiliza el tractor con este fin. A continuación se muestra el cálculo de combustible y energía empleados.

$$ef_{\text{prepSMo}} = \frac{273(14.3 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} + \frac{291(8 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} = 19.5 \text{ Ld ha}^{-1}(36.7) \\ = 715.65 \text{ MJ ha}^{-1}$$

Siembra

En el SMo, 29.7% surcan con tractor y 12.8% con yunta; el resto (57.5%) no surca previamente, precisamente porque siembra con equipo de tractor. Además, 18.4% lo

are adapted. This type of cultivation is a result of the RV technological package. 80% of the sampled producers belong to this group in the state of Tlaxcala (320 people), ranging in age from 23 to 93 years and an average of 62 years. The amount of land they cultivate is 5.5 ha on average, however, the range fluctuates between 0.5 and 60 ha. Of the people surveyed, 15% are women; the illiteracy level is 6.2% and each family has five members on average. The practices carried out are mentioned below.

Preparation of soil

The proportion of peasants who plough using a tractor is 85.3%, and 6.9% do not plough prior to planting due to the high costs involved. In the case of the dredge, when these activities are carried out using animals, the peasants call it “contlapanear”; occasionally it is carried out at the time of harvest and then before planting, even, a biga is passed over to undo the lumps and seal the soil so that it does not lose much moisture. In this group 8.8% uses a yunta and 90.9% use tractor for this purpose. Below is the calculation of fuel and energy used.

$$ef_{\text{prepSMo}} = \frac{273(14.3 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} + \frac{291(8 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} = 19.5 \text{ Ld ha}^{-1}(36.7) \\ = 715.65 \text{ MJ ha}^{-1}$$

Sowing

In the SMo, 29.7% furrows with tractor and 12.8% with yunta; the rest (57.5%) does not furrow previously, precisely because they sow with tractor equipment. In addition, 18.4% do so with sowing machine pulled by yunta; 23.1% sows using shovel and 1% sows to tapapié. The fuels use is as follows.

$$ef_{\text{sowingSMo}} = \frac{95(7 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} + \frac{184(8 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} = 6.72 \text{ Ld ha}^{-1}(36.7) \\ = 246.63 \text{ MJ ha}^{-1}$$

Tillage work

In this group 10% of producers fertilize maize with a tractor; 83.4% do it manually and the rest does not fertilize. Regarding weeding, 38.1% performed it with tractor, 20.9% tillage and 33.4% asegunda with machinery; the rest does it with yunta or does not carry out these tillage works. In addition, 67.5% used herbicides and 12.8% apply some insecticide; however, most of them do it with a manual backpack, 8.4% apply it with a backpack and 4% do so with a tractor. The calculations are as follows.

hacen con sembradora tirada por yunta; 23.1% siembran a pala y 1% siembra a tapapié. El uso de combustibles es el siguiente.

$$ef_{\text{siembraSMo}} = \frac{95(7 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} + \frac{184(8 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} = 6.72 \text{ Ld ha}^{-1}(36.7) \\ = 246.63 \text{ MJ ha}^{-1}$$

Labores culturales

En este grupo 10% de productores fertilizan su maíz con tractor; 83.4% lo hace manual y el resto no fertiliza. Respecto a la escarda, 38.1% la realiza con tractor, 20.9% labra y 33.4% asegunda con maquinaria; el resto lo hace con yunta o no lleva a cabo estas labores culturales. Además, 67.5% afirmó que aplica herbicidas y 12.8% aplica algún insecticida; sin embargo, la mayoría lo realiza con mochila manual, el 8.4% aplican con mochila de motor y 4% lo hace con tractor. A continuación se realizan los cálculos.

$$ef_{\text{labculSMo}} = \frac{32(3 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} + \frac{122(7 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} + \frac{67(7 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} + \\ = \frac{107(7 \text{ Lg ha}^{-1})}{320} + \frac{13(3 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} + \frac{27(2 \text{ Lg ha}^{-1})}{320} = \\ = (6.93 \text{ Ld ha}^{-1})(36.7) + (0.17 \text{ Lg ha}^{-1})(32) = 259.33 \text{ MJ ha}^{-1}$$

Cosecha

Para la cosecha, en este grupo la mecanización es más factible que en el SMT. La proporción de productores que usa máquina combinada para cosechar su maíz es 13.4% y el resto lo hace de forma manual y el zacate lo empaican 89.1% de campesinos. Además, los productores que usan desgranadora de motor a gasolina representan 62.8%, con motor eléctrico 12.5% y 77% empleó flete para trasladar su cosecha. La energía calculada para la cosecha en este grupo se muestra a continuación.

$$ef_{\text{cosechaSMo}} = \frac{43(35 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} + \frac{285(20 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} + \frac{201(3.6 \text{ Lg ha}^{-1})}{320} + \\ + \frac{246(20 \text{ Lg ha}^{-1})}{320} + \frac{40(1.8 \text{ h ha}^{-1})(1.5 \text{ kW h}^{-1})}{320} = \\ = (22.5 \text{ Ld ha}^{-1})(36.7) + (17.7 \text{ Lg ha}^{-1})(32) + (108 \text{ kW ha}^{-1})(3.6 \text{ MJ}) = \\ = 1780.95 \text{ MJ ha}^{-1}$$

La concentración de los cálculos anteriores permitió estimar la energía total por hectárea en el sistema de producción de maíz en monocultivo, quedando de la siguiente manera.

$$ef_{\text{tilworSMo}} = \frac{32(3 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} + \frac{122(7 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} + \frac{67(7 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} + \\ = \frac{107(7 \text{ Lg ha}^{-1})}{320} + \frac{13(3 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} + \frac{27(2 \text{ Lg ha}^{-1})}{320} = \\ = (6.93 \text{ Ld ha}^{-1})(36.7) + (0.17 \text{ Lg ha}^{-1})(32) = 259.33 \text{ MJ ha}^{-1}$$

Harvest

For the harvest, in this group the mechanization is more feasible than in the SMT. The proportion of producers using a combined machine to harvest their maize is 13.4% and the rest do it manually and the grass is packed by 89.1% of peasants. In addition, producers using gasoline engine grinders represent 62.8%, with a 12.5% electric motor and 77% used freight to move their harvest. The energy calculated for the harvest in this group is shown below.

$$ef_{\text{harvestSMo}} = \frac{43(35 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} + \frac{285(20 \text{ Ld ha}^{-1})}{320} + \frac{201(3.6 \text{ Lg ha}^{-1})}{320} + \\ + \frac{246(20 \text{ Lg ha}^{-1})}{320} + \frac{40(1.8 \text{ h ha}^{-1})(1.5 \text{ kW h}^{-1})}{320} = \\ = (22.5 \text{ Ld ha}^{-1})(36.7) + (17.7 \text{ Lg ha}^{-1})(32) + (108 \text{ kW ha}^{-1})(3.6 \text{ MJ}) = \\ = 1780.95 \text{ MJ ha}^{-1}$$

The concentration of the above parameters allowed to calculate the total energy used per hectare in the system of maize production in monoculture, being as follows.

$$ef_{\text{TotalSMT}} = 715.65 \text{ MJ ha}^{-1} + 246.63 \text{ MJ ha}^{-1} + 259.33 \text{ MJ ha}^{-1} \\ + 1780.95 \text{ MJ ha}^{-1} = 3002.6 \text{ MJ ha}^{-1}$$

SMO uses about 81.8 Lde ha⁻¹; for calculating the average BSC performance, the average maize yield 1 942.8 kg ha⁻¹ and 142 bales ha⁻¹ were contemplated. The average BSC was 4 975 kg ha⁻¹ and for this group 41.35 L of diesel are used per ton of maize grain. Regarding the calculation of direct emissions of CO₂e, the results were 231.9 kg of CO₂e ha⁻¹.

Fossil energy use and CO₂e production of compared cultivation systems

Student's t-Test was applied to data related to the use of fossil fuels (and consequent generation of CO₂e) from agricultural activity, the results for soil preparation were F= 6.464, p= 0.116, this situation indicates that there is no significant difference between the groups (SMT and SMo). For sowing cases (F= 223, 615, p=0.001) and tillage tasks (F= 34 928, p=

$$ef_{TotalSMT} = 715.65 \text{ MJ ha}^{-1} + 246.63 \text{ MJ ha}^{-1} + 259.33 \text{ MJ ha}^{-1} + 1\,780.95 \text{ MJ ha}^{-1} = 3002.6 \text{ MJ ha}^{-1}$$

El SMO utiliza aproximadamente 81.8 Lde ha⁻¹; para el cálculo de la BSC se contempló el rendimiento medio de maíz de 1 942.8 kg ha⁻¹ y de 142 pacas ha⁻¹. El promedio de la BSC fue de 4 975 kg ha⁻¹ y para este grupo se emplean 41.35 L de diésel por tonelada de grano de maíz. Respecto al cálculo de emisiones directas de CO₂e, los resultados fueron 231.9 kg de CO₂e ha⁻¹.

Uso de energéticos fósiles y producción de CO₂e de los sistemas de cultivo comparados

Se aplicó la prueba de t Student a los datos relacionados al uso de combustibles fósiles (y su consecuente generación de CO₂e) por actividad agrícola, los resultados para preparación de suelo fueron F=6.464, p= 0.116, situación que nos indica que no existe diferencia significativa entre los grupos (SMT y SMO). Para los casos de siembra (F= 223.615, p= 0.001) y labores culturales (F= 34.928, p=0.002) existe una diferencia altamente significativa la cual nos muestra que el SMO emplea más combustible y genera más CO₂e que el SMT en estas actividades (Guevara, 2013; Doménech *et al.*, 2012). Sin embargo, la labor que más combustible emplea es la cosecha, donde F= 3.068, p= 0.255, no existe diferencia significativa (Cuadro 1).

0.002) there is a highly significant difference which shows that SMO uses more fuel and generates more CO₂e than the SMT in these activities (Doménech *et al.*, 2012; Guevara, 2013). However, the task that used more fuel was harvesting, where F= 3.068, p= 0.255, no significant difference exists (Table 1).

Material and energy balances are important to know if there is a high or low efficiency in a system. According to Odum (1983), agricultural systems are open and dissipative, a situation that involves energy use for growing, maintaining and establishing a flow of matter and energy in its environment. This paper shows the results of SMT that employs 2 114.4 MJ ha⁻¹ equivalent to 57.6 Lde ha⁻¹ of ef_{Total} and produces 82.6 kg of CO₂e tm⁻¹ of maize grain. The SMO used 3 002.6 MJ ha⁻¹ corresponding to 81.8 Lde ha⁻¹ that generates 119.4 kg of CO₂e tm⁻¹ of maize.

Guevara *et al.* (2013); Reyes-Muro *et al.* (2013) reported on a paper carried out in Frailesca Chiapas region, that for that maize area whose average yields were 3.47 tm ha⁻¹ producers used 1 788.2 MJ tm⁻¹ of maize approximately. However, the direct use of fuel (for tractor) represents 6% of the total, which involves the use of 108 MJ tm⁻¹. The situation is that in that region 85.7% of producers use “improved” seeds that generate relatively high yields and only 11% use soil preparation machinery; the rest do the work manually. In this case, most of energy used for production systems is biological (human and yoke), which is why they emit only 8.1 kg of CO₂e tm⁻¹.

Cuadro 1. Comparación del uso energético y emisión de CO₂e entre los sistemas de producción.
Table 1. Comparison of energy use and emissions of CO₂e between production systems.

Actividad	SMT		SMo		Nivel de significancia
	(Lde ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹ CO ₂ e)	(Lde ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹ CO ₂ e)	
Preparación de suelo	14.34	40.65	19.5	55.27	ns
Siembra	3.94	11.17	6.72	19.05	**
Labores culturales	2.55	7.23	7.07	20.04	**
Cosecha	36.78	104.26	48.52	137.54	ns
Total	57.61	163.31	81.81	231.9	--

Fuente: elaboración con datos de campo febrero-mayo 2015. ημSMT= 59; ημSMo= 320; ns= no significativo; **= altamente significativo.

Los balances de materia y energía son importantes para conocer si la eficiencia es alta o baja en un sistema. De acuerdo a Odum (1983), los sistemas agrícolas son abiertos y disipativos, situación que implica el uso de energía para crecer, mantenerse y establecer un flujo de materia y energía en su entorno. En este trabajo los resultados obtenidos evidencian

While in a research with different crops in La Rioja, Spain, the most similar for the point of comparison with maize are wheat and barley; according to Domenech *et al.* (2012) agricultural activities generate 1.42 tm of CO₂e ha⁻¹ for the concept of direct emissions; the sum of direct and indirect emissions exceeds 2 tm CO₂e ha⁻¹ for those crops.

que el SMT emplea $2\,114.4\text{ MJ ha}^{-1}$ equivalente a 57.6 L ha^{-1} de ef_{Total} y produce $82.6\text{ kg de CO}_2\text{e tm}^{-1}$ de grano de maíz. Por parte del SMO se utilizan $3\,002.6\text{ MJ ha}^{-1}$ correspondientes a 81.8 L ha^{-1} que generan $119.4\text{ kg de CO}_2\text{e tm}^{-1}$ de maíz.

Guevara *et al.* (2013); Reyes-Muro *et al.* (2013) reportaron en un estudio realizado en la región Frailesca de Chiapas, que para esa zona maicera cuyos rendimientos medios fueron de 3.47 tm ha^{-1} , los productores utilizaron $1\,788.2\text{ MJ tm}^{-1}$ de maíz aproximadamente. No obstante, el uso directo de combustibles (para tractor) representa 6% del total, que implica el uso de 108 MJ tm^{-1} . La situación es que en esa región 85.7% de productores usan semillas “mejoradas” con rendimientos relativamente altos y sólo 11% emplean maquinaria para preparación de suelos; el resto realiza las labores de forma manual. En este caso, la mayoría de energía utilizada para los sistemas de producción es biológica (humanos y yunta), situación por la que solo emiten $8.1\text{ kg de CO}_2\text{e tm}^{-1}$.

Mientras que en un estudio con diversos cultivos en La Rioja, España, los que más se asemejan para el punto de comparación con maíz son el trigo y la cebada; de acuerdo a Doménech *et al.* (2012) las actividades agrícolas generan $1.42\text{ tm de CO}_2\text{e ha}^{-1}$ por el concepto de emisiones directas; la sumatoria de emisiones directas e indirectas rebasan $2\text{ tm de CO}_2\text{e ha}^{-1}$ para esos cultivos.

En ambos casos, los resultados de emisiones de CO_2e que reportan son extremos. Mientras que en el trabajo de Guevara *et al.* (2013) las emisiones por uso directo representan 6%, en el reporte de Doménech *et al.* (2012) es 11 veces mayor (67%) en relación al mismo concepto. Sin embargo, en el primero el cultivo es maíz y en el segundo son cebada y trigo. Además, el contexto es muy diferente entre ellos, el caso de Chiapas es en condiciones de un alto uso de mano de obra para el cultivo de maíz, y en el caso de La Rioja aparentemente es de uso intensivo de maquinaria y equipo en cultivo de cebada y trigo.

Otros referentes, son el caso de Wayne (1990) y de Pimentel y Pimentel (2005), en los cuales aseveran que en Estados Unidos de América se utilizan $142.5\text{ L de diésel tm de grano de maíz producido}$. Esta cantidad equivale a $7\,425.8\text{ MJ tm}^{-1}$ de maíz y a la vez genera $437\text{ kg de CO}_2\text{e tm}^{-1}$, valores superiores a los obtenidos en esta investigación. De acuerdo al SIAP (2015), para el año 2014 en el estado de Tlaxcala se sembraron $115\,603\text{ ha de maíz}$ y se cosecharon $114\,453\text{ ha}$ con un rendimiento medio de 3.18 tm ha^{-1} . La cantidad total de grano producido a nivel estatal fue de $364\,450\text{ tm}$ durante ese año, considerando condiciones de temporal y de riego.

In both cases, the results of reported CO_2e emissions are extreme. While in Guevara *et al.* (2013) paper direct use emissions represent 6%, Doménech *et al.* (2012) report is 11 times higher (67%) in relation to the same concept. However, in the first one the crop is maize and in the second are barley and wheat. In addition, the context is very different between them, since the case of Chiapas is carried out in conditions of a high use of labor for maize cultivation, and in the case of La Rioja apparently it is of intensive use of machinery and equipment in barley and wheat crops.

Other references are Wayne (1990) and Pimentel and Pimentel (2005), which assert that in the United States of America 142.5 L of diesel are used for each tm of maize grain produced. This amounts to $7\,425.8\text{ MJ tm}^{-1}$ maize, generating $437\text{ kg of CO}_2\text{e tm}^{-1}$, which are higher values than those obtained in this paper. According to SIAP (2015), for 2014 in the state of Tlaxcala $115\,603\text{ ha}$ of maize were sown and $114\,453\text{ ha}$ were harvested with an average yield of 3.18 tm ha^{-1} . The total amount of grain produced at state level was $364\,450\text{ tm}$ during that year, considering rain-fed and irrigation conditions.

If all Tlaxcala maize had been produced in conditions of fossil energy use similar to that used in the United States of America in 2014, it would have been $2\,706\,332\,810\text{ MJ}$ or $2\,706\,333\text{ TJ}$ of energy and $151\,631\text{ tm}$ of CO_2e would have been generated. But if all the tlaxcalteca maize production had been under similar conditions to SMT on the use of fossil fuels, the energy used must have been $389\,582.5\text{ TJ}$ and $30\,103.6\text{ tm}$ of CO_2e would have been emitted. However, making a calculation close to reality of how it occurred, and considering that only 5% of producers planted in SMT and 95% in SMO, the energy used was approximately $554\,577.2\text{ TJ}$ and generated around $42\,844.7\text{ tm}$ of CO_2e .

Conclusions

Maize is a grass that has been domesticated in México for about nine thousand years and has been cultivated associated with various species such as beans, squash and chili peppers among others. In the state of Tlaxcala, the SMT is now almost extinct, since only five out of 100 maize farmers sow it associated with some legume. The use of fuels derived from petroleum is greater in the SMO, although there is only statistical difference in the areas of planting and tillage tasks. However, in soil preparation and harvesting the difference

Si en 2014 se hubiese producido todo el maíz de Tlaxcala en condiciones de uso de energía de origen fósil similar a la que emplean en Estados Unidos de América, esta hubiese sido de 2 706 332 810 MJ ó 2 706 333 TJ de energía y se hubiesen generado 151 631 tm de CO₂e. Pero si toda la producción de maíz tlaxcalteca hubiese sido en condiciones similares al SMT respecto al uso de energéticos fósiles, la energía empleada debió ser 389 582.5 TJ y se debió emitido la cantidad de 30 103.6 tm de CO₂e. Sin embargo, realizando un cálculo acercado a la realidad de cómo se produjo, y considerando que solo 5% de productores sembraron en SMT y 95% en SMO, la energía que se empleó fue aproximadamente de 554 577.2 TJ y se generaron alrededor de 42 844.7 tm de CO₂e.

Conclusiones

El maíz es una gramínea que se domesticó en México desde hace aproximadamente nueve mil años y se ha venido cultivando asociada con diversas especies como el frijol, la calabaza y el chile entre otros. En el estado de Tlaxcala, actualmente el SMT casi se ha extinguido, pues solamente cinco de cada cien productores de maíz lo siembran asociado con alguna leguminosa. El uso de combustibles derivados del petróleo es mayor en el SMO, aunque sólo existe diferencia estadística en los rubros de siembra y labores culturales. Sin embargo, en la preparación de suelos y en la cosecha la diferencia en el uso de combustibles fósiles sería significativa si consideramos que en el SMT también se cosecha frijol, haba, ayocote y ocasionalmente semilla de calabaza. No obstante, en este trabajo no se realizó la comparación considerando sus equivalencias. Igualmente, la emisión de CO₂e es proporcionalmente menor en el SMT que en el SMO. En términos generales, desde una perspectiva del uso de energía fósil y emisión de GEI, el SMT es más eficiente, además, tiene implicaciones positivas al agroecosistema, aporta beneficios a la economía del campesino así como a la diversidad para su alimentación.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto de Ciencias (ICUAP) por el apoyo brindado para realizar la presente investigación; asimismo, al Centro de Agroecología de la BUAP y al programa de Posgrado en Manejo Sostenible de Agroecosistemas.

in fossil fuel use would be significant when it is taking into account that the SMT also harvests beans, broad beans, ayocote and occasionally pumpkin seed. However, in this paper the comparison was not performed considering its equivalences. Similarly, the CO₂e emission is proportionally lower in the SMT than in SMO. Generally speaking, from a perspective of the use of fossil energy and GHG emissions, the SMT is more efficient, it also has positive implications for the agroecosystem, bringing benefits to the farmers' economy as well as food diversity.

End of the English version



Literatura citada

- Altieri, M. A. 1999. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. (Ed.). Nordan- Comunidad. Montevideo, Uruguay. 325 p.
- Altieri, M. A. y Nichols, C. I. 2000. Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. PNUMA, México, D. F. 250 p.
- Álvarez, B. E. R. y Piñeyro, A. N. 2013. El maíz en peligro ante los transgénicos. Un análisis integral sobre el caso de México. UNAM, CIICH, UCCS, UV. 567 p.
- Bermejo, I. 2010. Agricultura y cambio climático. El ecologista, No. 67:18-22.
- CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria). 2014. Reporte del CEDRSSA. Consumo, distribución y producción de alimentos: el caso del complejo maíz-tortilla. LXII Legislatura, Cámara de Diputados. México, D. F. 15 p.
- Damián, H. M. A.; Cruz, L. A.; Ramírez, V. B.; Romero, A. O.; Moreno, L. S. y Reyes, M. L. 2013. Maíz, alimentación y productividad: modelo tecnológico para productores de temporal de México. Agricultura, Sociedad y Desarrollo. 10:157-176.
- Doménech, J.; Martínez, M. y Fernández, M. 2012. La agricultura y el CO₂. Cuaderno de campo. Servicio de Estadística y Planificación Agraria. La Rioja, España. 4-11 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2011. Second global plan of action for the conservation and sustainable utilization of plant genetic resources for food and agriculture. <http://www.fao.org/do-crep/015/i2624e/i2624e00.htm>. 96 p.
- Gliessman, S. 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Impresiones LITOLAT. Turrialba, Costa Rica. 359 p.
- Guevara, H. F.; Rodríguez, L. L. A.; Ovando, C. J.; Gómez, C. H.; Ocaña, G. M. y Camacho, V. T. C. 2013. *In*: Reyes, M. L.; Camacho, V. T. C. y Guevara, H. F. (Coord.). Implicaciones socioeconómicas y energéticas del uso y manejo de rastrojo en la región Frailesca, Chiapas. *In*: rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro técnico núm. 7. Pabellón de Artega, Aguascalientes, México. 37-92 pp.

- Hernández, X. E. y Aguirre, R. J. R. 1998. Etnobotánica y agricultura tradicional. Nueve mil años de agricultura en México, homenaje a Efraín Hernández Xolocotzi. GEA A. C. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, D. F. 217 p.
- Hewitt, A. C. 1985. La modernización de la agricultura mexicana 1949-1970. Siglo XXI editores, 5^a (Ed.). México, D. F. 319 p.
- IGC (International Grains Council). 2015. Five-year global supply and demand projections. <http://www.igc.int/en/publications/worldgrainstatistics.aspx>.
- INEGI. 2010. Censo de población y vivienda 2010. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2013. Cambio Climático 2013. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas. www.climatechange2013.org.
- Martínez, J. y Fernández, B. A. 2008. Cambio climático: una visión desde México. SEMARNAT - INE. México, D. F. 525 p.
- Odum, H. T. 1983. Systems ecology. John Wiley and Sons, New York. 644 p.
- Pimentel, D. y Dazhong, W. 1990. Technological changes in energy use in U. S. Agricultural production. *In: Agroecology*. McGraw-Hill Publishing Company, USA. 147-164 pp.
- Pimentel, D. y Pimentel, M. 2005. Energy use in agriculture: an overview. *LEISA Magazine*. 21:5-7.
- Proagro Productivo. 2014. Listado preliminar de beneficiarios primavera verano 2014. <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Programas/proagro/Beneficiarios/PV14/TLAXCALA.PV14.zip>.
- Sánchez, M. P. y Castro, P. F. 2011. Prácticas agroecológicas para una agricultura sostenible. Grupo Vicente Guerreo. El Colegio de Tlaxcala. Tlaxcala, México. 88 p.
- Sánchez, M. P. y Hernández, O. P. 2014. Sistema milpa. Elementos de identidad campesina e indígena. PIDAASSA, México. 24 p.
- SE. 2015. Secretaría de Economía. <http://www.economia.gob.mx/delegaciones-de-la-se/estatales/tlaxcala>.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la SAGARPA). 2014. Rendimientos de granos por estados y años. <http://siap.gob.mx/>.
- USDA. 2014. Foreign Agricultural Service. http://www.fas.usda.gov/agx/buying_us/buying_us.products.asp.