



# Eficiencia energética y emisiones de gases de efecto invernadero en dos agroecosistemas en Oaxaca, México

## *Energy efficiency and greenhouse gas emissions in two agro ecosystems in Oaxaca, Mexico*

Dr.C. Fidel Diego-Nava\*, Dr.C. Jaime Ruiz Vega, M.C. Ofelia Martínez-Ruiz, M.C. Nancy Merab Pérez-Belmonte, M.C. Fernando Ruiz-Ortiz

Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

**RESUMEN.** En los Valles Centrales de Oaxaca, México los campesinos producen plantas, animales y hongos tanto en agroecosistemas tradicionales denominados milpa como en sistemas agrícolas altamente mecanizados. En México existe la creencia que los sistemas agrícolas altamente mecanizados son los más eficientes puesto que tienen altos rendimientos de productos agrícolas. Por esta razón se hizo e análisis energético de ambos agroecosistemas con el objetivo de identificar y cuantificar la energía consumida, y la generación de emisiones de gases de efecto invernadero. La información se obtuvo mediante encuestas y toma de datos en campo. Los resultados mostraron que la milpa tiene una eficiencia del uso de la energía de 5,334 y el sistema mecanizado de 1,347. En cuanto a la emisión específica de gases de efecto invernadero, el sistema mecanizado emitió 38 953 kg CO<sub>2</sub>eq/ha y la milpa 13 635,862 kg CO<sub>2</sub>eq/ha.

**Palabras clave:** milpa, mecanización, rentabilidad, productividad.

**ABSTRACT.** In the Central Valleys of Oaxaca, Mexico, farmers produce plants, animals and fungi in both traditional agroecosystems called milpa and highly mechanized agricultural systems. In Mexico there is a belief that highly mechanized agricultural systems are the most efficient since they have high yields of agricultural products. For this reason, an energetic analysis of both agroecosystems was carried out in order to identify and quantify the energy consumed, and the generation of greenhouse gas emissions. The information was obtained through surveys and data collection in the field. The results showed that the milpa has an energy use efficiency of 5.334 and the mechanized system of 1.347. Regarding the specific emission of greenhouse gases, the mechanized system emitted 38 953 kg CO<sub>2</sub>eq/ha and the milpa 13 635,862 kg CO<sub>2</sub>eq/ha.

**Keywords:** milpa, mechanization, profitability, productivity.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura industrializada se ha extendido en México (Planeación agrícola Nacional 2017-2030) debido principalmente a las ventajas de los altos rendimientos de productos vegetales y animales que trae a corto plazo grandes ganancias monetarias para los agricultores que practican este modelo de explotación de la tierra (Smith y Kurtz, 2015). Este tipo de

agricultura está basada en los monocultivos, empleo de semillas industriales, mecanización intensiva, aplicación de fertilizantes sintéticos, uso de plaguicidas industriales y utilización del riego (Crow, 1998). Pero los agroecosistemas industriales han traído problemas tales como pérdida de la biodiversidad según Lanz *et al.* (2018), contaminación del medio ambiente según Rohila

\*Autor para correspondencia: Fidel Diego-Nava, e-mail: [fdiego1954@yahoo.com](mailto:fdiego1954@yahoo.com)

**Recibido:** 28/01/2019.

**Aprobado:** 15/03/2019.

*et al.* (2017), baja eficiencia energética y alta emisión de gases de efecto invernadero de acuerdo a Parton *et al.* (2015). A la vez existe en México otro tipo de agroecosistema inventado por los antiguos indígenas mexicanos llamado milpa que se practica en pequeñas parcelas donde utilizan técnicas de explotación de la tierra con varios cultivos a la vez y de acuerdo a las condiciones climáticas, geográficas y ecológicas del lugar (Lozada *et al.*, 2017). En México muchos campesinos adoptaron la agricultura industrializada porque les trajo grandes ganancias según Pinstrop y Hazell (1985), pero también ha traído la contaminación ambiental por la utilización de combustibles fósiles según Woods *et al.* (2010) y altos costos externos (Tegtmeier y Duffy, 2004). En el caso de los Valles Centrales de Oaxaca coexisten tanto la producción agrícola basada en la milpa como en los agroecosistemas mecanizados (Vásquez *et al.*, 2017). El objetivo de este estudio fue determinar y comparar la eficiencia energética y la emisión de gases de invernadero (EGI) de un agroecosistema mecanizado (SM) y una milpa (MI).

## MÉTODOS

Primero se definieron las fronteras del agroecosistema en estudio, con el fin de identificar las entradas y salidas de

energía. Se elaboró una encuesta que posteriormente se perfeccionó con la colaboración de los agricultores. Se visitó el área de estudio para tomar los datos para su caracterización. Una vez obtenido estos datos del sitio se procedió a realizar la encuesta a los productores. Se tomaron dimensiones del terreno y posteriormente se realizó un recorrido por los cultivos para identificar los tipos de cultivo, la asociación con otras especies vegetales, así como entradas de energía y materia. Se tomó la cantidad de plantas por metro cuadrado, se obtuvo el peso promedio de la planta y se pesaron los productos de las plantas. También se hizo una revisión bibliográfica para obtener los equivalentes energéticos (Tabla 1) y de generación de gases de efecto invernadero de las entradas y salidas (Tabla 2). Para los cálculos de la eficiencia energética y las emisiones de gases de invernadero se usó la metodología de Pishgar *et al.* (2013). Para el cálculo de la energía específica de entrada ( $E_e$ ) se utilizó la ecuación:

$$E_e = E_{cb} + E_{ci}, \text{ MJ ha}^{-1} \quad (1)$$

donde:

$E_{cb}$  es la energía cultural biológica (MJ ha<sup>-1</sup>) y  $E_{ci}$  la energía cultural industrial (MJ ha<sup>-1</sup>). Para el cálculo de  $E_{cb}$ , se usó la ecuación:

$$E_{cb} = (E_h U_h + E_{ta} U_{ta} + E_{sc} U_{sc} + E_{ae} U_{ae} + E_{cc} U_{cc} + E_{lb} U_{lb}) A^{-1}, \text{ MJ ha}^{-1} \quad (2)$$

donde:

$E_h$  es el equivalente energético de la mano de obra (MJ h<sup>-1</sup>);  $U_h$  es el tiempo de trabajo del campesino (h);  $E_{ta}$  equivalente energético de tiro animal (MJ h<sup>-1</sup>);  $U_{ta}$  es el tiempo de trabajo de trabajo del animal (h)  $E_{sc}$  equivalente energético de semillas criollas (MJ kg<sup>-1</sup>);  $U_{sc}$  es el peso de la semilla criolla (kg);  $E_{ae}$  es el equivalente energético del abono de excremento (MJ kg<sup>-1</sup>);  $U_{ae}$  es el peso del abono de excremento (kg);  $E_{cc}$  equivalente energético de composta comercial (MJ kg<sup>-1</sup>);  $U_{cc}$  es el peso de la composta comercial (kg);  $E_{lb}$  equivalente energético de lodo de biogás (MJ kg<sup>-1</sup>);  $U_{lb}$  es el peso de la semilla criolla (kg) y  $A$  es la superficie del terreno (ha). Para el cálculo de  $E_{ci}$ , se usó la ecuación:

$$E_{ci} = (E_m U_m + E_{comb} U_{comb} + E_f U_f + E_{ags} U_{ags} + E_{agl} U_{agl} + E_{el} U_{el} + E_{ia} U_{ia} + E_{si} U_{si}) A^{-1}, \text{ MJ ha}^{-1} \quad (3)$$

donde:

$E_m$  es el equivalente energético por uso de maquinaria (MJ h<sup>-1</sup>);  $U_m$  es el tiempo de trabajo de la maquinaria (h);  $E_{comb}$  equivalente energético del combustible consumido en la labranza (MJ l<sup>-1</sup>);  $U_{comb}$  es el consumo de combustible (l);  $E_f$  es equivalente energético por la fabricación de fertilizantes (MJ kg<sup>-1</sup>);  $U_f$  es el peso del fertilizante utilizado (kg);  $E_{ags}$  es el equivalente energético por la fabricación de agroquímicos sólidos (MJ kg<sup>-1</sup>);  $U_{ags}$  es el consumo de agroquímicos sólidos (kg);  $E_{agl}$  es el equivalente energético por la fabricación de agroquímicos líquidos (MJ l<sup>-1</sup>);  $U_{agl}$  es el consumo de agroquímicos líquidos (l);  $E_{el}$  es el equivalente energético de la energía eléctrica usada en la parcela (MJ kWh<sup>-1</sup>);  $U_{el}$  es el consumo de energía eléctrica (kWh);  $E_{ia}$  es el equivalente energético de la energía usada en la irrigación (MJ m<sup>3</sup><sup>-1</sup>);  $U_{ia}$  es el consumo de agua (m<sup>3</sup>);  $E_{si}$  es el equivalente energético de la energía empleada en la producción industrial de semillas (MJ kg<sup>-1</sup>) y  $U_{si}$  es la semilla industrial empleada en la parcela (kg). En cuanto al cálculo de la salida de energía  $E_{sal}$ , se usó la ecuación:

$$E_{sal} = (E_p U_p + E_a U_a + E_{fu} U_{fu}) A^{-1}, \text{ MJ ha}^{-1} \quad (4)$$

donde:

$E_p$  es el equivalente energético del peso de las plantas (MJ kg<sup>-1</sup>);  $U_p$  es el producto vegetal de la parcela (kg);  $E_a$  es el equivalente energético de los productos animales (MJ kg<sup>-1</sup>);  $U_a$  es el producto animal de la parcela (kg);  $E_{fu}$  equivalente energético de los productos e los hongos (MJ kg<sup>-1</sup>) y  $U_{fu}$  es el producto de los hongos (kg). También se calcularon los indicadores energéticos del agroecosistema; la eficiencia del uso de la energía  $E_{ue}$ , la productividad energética  $PE$ , producción total específica de la parcela  $P_p$ , energía específica  $EE$ , energía neta  $EN$ , rentabilidad energética  $RE$  por medio de las ecuaciones 5-10.

$$E_{ue} = E_{sal} / E_e, \quad (5)$$

$$PE = P_f/E_e, \text{ (kg} \times \text{MJ}^{-1}) \quad (6)$$

$$P_t = (\Sigma SP_i)(A^{-1}), \text{ (kg} \times \text{ha}^{-1}) \quad (7)$$

donde:  $SP$  es la producción de la planta o animal.

$$EE = E_e/P_p, \text{ (MJ kg}^{-1}) \quad (8)$$

$$EN = E_{sal} - E_e, \text{ (MJ ha}^{-1}) \quad (9)$$

$$RE = EN/E_e, \quad (10)$$

**TABLA 1. Coeficientes energéticos de entradas y salidas de energía**

Descripción	Unidad	Equivalente energético (MJ unidad <sup>-1</sup> )	Referencia
A. Entradas			
Mano de obra	h	1,95	(Pishgar <i>et al.</i> , 2013)
Operario del tractor	h	1,05	(Guevara <i>et al.</i> , 2015)
Tiro animal	h	7,50	(Guevara <i>et al.</i> , 2015)
Combustible diesel	L	40.00	(Pishgar <i>et al.</i> , 2013)
Maquinaria	h	87,90	(Banaeian y Zangeneh, 2011)
Fertilizantes:	kg	55.40	(Pishgar <i>et al.</i> , 2013)
Nitrógeno			
Excremento vacuno	kg	0,30	(Pishgar <i>et al.</i> , 2013)
Semilla de maíz híbrido	kg	100,00	(Takia <i>et al.</i> , 2012)
Semilla de maíz nativo	kg	16,20	(Guevara <i>et al.</i> , 2015)
Semilla de calabaza nativa	kg	1,90	(Azarpour <i>et al.</i> , 2013)
B. Salida			
Grano de maíz	kg	15,31	(Guevara <i>et al.</i> , 2015)
Forraje de tallos y hoja de maíz	kg	13.10	(Guevara <i>et al.</i> , 2015)
Semilla de calabaza	kg	16,20	(Azarpour <i>et al.</i> , 2013)
Fruto de calabaza	kg	0,80	(Montesano <i>et al.</i> , 2018)

Para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero y emisión específica de los agroecosistemas se utilizó la ecuación 11 ( $E_{gi}$ ) de Pishgar *et al.* (2013):

$$E_{gi} = (C_m K_m + V_{comb} K_{comb} + M_f K_f + M_{aq} K_{aq} + C_{el} K_{el}) A^{-1}, \text{ kgCO}_2\text{-eq ha}^{-1} \quad (11)$$

donde  $C_m$  es el consumo de energía incrustada por uso de maquinaria (MJ);  $K_m$  coeficiente de emisión de GI por uso de maquinaria (kg CO<sub>2</sub>eq MJ<sup>-1</sup>);  $V_{comb}$  volumen de diésel consumido (l);  $K_{comb}$  coeficiente de emisión de GI por diésel consumido (kg CO<sub>2</sub>eq l<sup>-1</sup>);  $M_f$  peso del fertilizante aplicado (kg);  $K_f$  coeficiente de emisión de GI por fertilizante aplicado (kg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>);  $M_{aq}$  peso del agroquímico aplicado (kg);  $K_{aq}$  coeficiente de emisión de GI por agroquímico aplicado (kg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>);  $C_{el}$  consumo de energía eléctrica usada (kwh);  $K_{el}$  coeficiente de emisión de GI por energía eléctrica usada (kg CO<sub>2</sub> kwh<sup>-1</sup>). En la Tabla 2 se detallan los coeficientes de emisión de GEI de entradas utilizados según Mondani *et al.* (2017). El cálculo de  $C_m$  se hizo basado en la energía del diésel estimada para el trabajo de campo y multiplicada por un factor de 0.071.

### Localización de las parcelas

La parcela 1 (SM) está en Cuilapam de Guerrero, Valles Centrales, Oaxaca, México; entre los paralelos 16°57' y 17°03' de latitud norte, los meridianos 96°45' y 96°52' de longitud oeste; altitud entre 1 500 y 2 100 m; el suelo es vertisol de textura fina, y el clima es semiseco semicálido con intervalo de temperatura 18 a 22°C e intervalo de precipitación 600 a

800 mm (INEGI, 2008). La parcela 2 (MI) está en San Pedro Apóstol, Valles Centrales, Oaxaca, México; se ubica en las coordenadas 96°43' de longitud oeste y los 16°44' de latitud norte, a una altura de 1,500 metros sobre el nivel del mar, el suelo es luvisol de textura gruesa y el clima es semiseco semicálido, el intervalo de temperatura promedio de 16 a 22 °C e intervalo de precipitación es de 600 a 800 mm (INEGI, 2008).

**TABLA2. Coeficientes de emisión de GEI de entradas (Mondani *et al.*, 2017).**

Entrada	Unidad	Coeficiente (kg CO <sub>2</sub> unidad <sup>-1</sup> )
Energía incrustada en la maquinaria por la fabricación	MJ	0,071
Diesel	L	2,76
Electricidad	Kwh	0,78
Fertilizante químico		

	Entrada	Unidad	Coefficiente (kg CO <sub>2</sub> unidad <sup>-1</sup> )
Nitrógeno		kg	1,3
Fosforo		kg	0,2
	Potasio	kg	0,2
Excremento animal		kg	0,126
Biocida			
Herbicida		kg	6,3
Insecticida		kg	5,1
Fungicida		kg	3,9

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron las características de cada parcela estudiada (Tabla 3).

**TABLA 3. Características de los agroecosistemas estudiados**

	SM	MI
Tamaño del terreno (ha)	0,30	0,71
Ancho de surco (m)	0,60	0,50
Plantas/ha	63 400	51 600
Cultivos	Maíz híbrido	Maíz nativo y calabaza nativa
Tipo de labranza	Mecanizada con tractor	Tracción animal con yunta de bueyes y mano de obra
Tipo de riego	Temporal	Temporal
Fertilización	Estiércol de bovino y sulfato de amonio	Estiércol de bovino
Control físico de maleza	Ninguno	Corte manual

Los resultados de los cálculos de las entradas y salidas de energía (Tabla 4) muestran que en SM la entrada total específica de energía fue de 215 920,67 MJ/ha, y tuvo su origen principalmente en el combustible diésel (48%), el abono de excremento vacuno (33%) y el fertilizante nitrogenado (17%). En MI la entrada total específica de energía fue de 35 695,35 MJ/ha, y tuvo su origen principalmente en el abono de excremento vacuno (96%), y un 4% repartido entre el trabajo manual, tiro animal y la semilla de maíz nativo.

En cuanto a los indicadores energéticos (Tabla 5) la producción específica de SM es mayor en un 25,5% que la correspondiente a MI pero este tiene mayor eficiencia del uso de la energía en un 74.7%, lo que indica un mejor aprovechamiento de las entradas de energía en MI. Finalmente existe una clara diferencia en cuanto a la rentabilidad energética (RE) a favor de MI puesto que SM tiene una RE que sólo alcanza un 8% del valor de la RE de MI. La eficiencia del uso de la energía  $E_{eu}$  fue más alta en MI con respecto a SM, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Ruiz *et al.* (2015).

En cuanto a las emisiones específicas de GEI (Tabla 6), en MI la totalidad de emisiones tuvieron su origen en el abono del excremento mientras que en SM las emisiones específicas de GEI fueron debidas al diésel consumido por la maquinaria (19%), uso de la maquinaria (1%), fertilizante nitrogenado aplicado (2%) y el abono de excremento vacuno (78%). Las emisiones específicas de GEI de MI tuvieron una magnitud de 35% que las respectivas de SM. En los dos sistemas la mayor fuente de emisión de GEI fue el excremento vacuno.

**TABLA 4. Entrada y salida de energía de los agroecosistemas**

	SM Equivalencia MJ/ha	MI Equivalencia MJ/ha
<b>Entrada de energía</b>		
Uso de Maquinaria	1 172,00	0,00
Diesel	104 000,00	0,00
Operario del tractor	21,00	0,00
Fertilizante Nitrógeno	36 933,33	0,00
Trabajo manual	78,00	670,14
Tiro animal	0,00	2070,42
Semilla de maíz híbrido	1 333,33	0,00
Semilla de maíz nativo	0,00	456,34
Semilla de Calabaza nativa	0,00	32,11
Abono de excremento vacuno	72 383,00	32 466,34
$E_e$	215 920,67	35 695,35
<b>Salida de energía</b>		
Grano de maíz	81 000,00	18 253,52
Forraje de maíz	209 905,67	170 853,52
Fruto de Calabaza	0	1 126,76
Semilla de Calabaza	0	176,62
$E_{sal}$	290 905,67	190 410,423

**TABLA 5. Indicadores energéticos de los agroecosistemas**

	SM	MI
Producción específica, $P_i$ (kg/ha)	21 023,330	15 670,423
Productividad energética, $PE$ (kg/MJ)	0,097	0,439
Energía específica, $EE$ (MJ/kg)	10,271	2,278
Energía neta, $EN$ (MJ/ha)	74 985,000	154 715,070
Rentabilidad energética, $RE$	0,347	4,334
Eficiencia del uso de la energía, $E_{ue}$	1,347	5,334

**TABLA 6. Emisiones de gases de efecto invernadero de los agroecosistemas**

	SM kg CO <sub>2eq</sub> /ha	MI kg CO <sub>2eq</sub> /ha
Combustion de diésel	7 176,000	0,000
Uso de la maquinaria	509,496	0,000
Fertilizante nitrogenado	866,667	0,000
Excremento vacuno	30 400,860	13 635,862
Emisión específica de gases de efecto invernadero (kg CO <sub>2eq</sub> /ha)	38 953,023	13 635,862

## CONCLUSIONES

- MI fue más eficiente energéticamente que SM puesto que en el primero solamente el excremento vacuno implica una gran entrada de energía mientras que en el último el gasto energético es alto debido a la utilización de excremento vacuno, fertilizante nitrogenado y combustible diésel. También MI proporciona una mejor dieta al campesino debido a la mayor variedad de cultivos.
- Con respecto a la generación de gases de efecto invernadero, MI tuvo una  $E_{gi}$  menor porque la única fuente de estos gases es el excremento vacuno mientras que en SM las fuentes directas de emisión son el excremento vacuno, los fertilizantes nitrogenados y el combustible diésel y en forma indirecta la emisión de estos gases se da por el uso de la maquinaria.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZARPOUR, E.; MEHR, A.S.; MORADITOCHEAE, M.; REZA, H.B.: "Evaluation green house gases and energy of pumpkin production in north of Iran.", *International Journal of Biosciences (IJB)*, 3(8): 182-190, 2013, ISSN: 2220-6655.
- BANAEIAN, N.; ZANGENEH, M.: "Study on energy efficiency in corn production of Iran", *Energy*, 36(8): 5394-5402, 2011, ISSN: 0360-5442.
- CROW, J.F.: "90 years ago: the beginning of hybrid maize", *Genetics*, 148(3): 923-928, 1998, ISSN: 0016-6731.
- GUEVARA, H.F.; RODRÍGUEZ, L.A.; HERNÁNDEZ, R.M.A.; FONSECA, F.M.A.; PINTO, R.R.; REYES, M.L.: "Eficiencia energética y económica del cultivo de maíz en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera" La Sepultura", Chiapas, México", *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(8): 1929-1941, 2015, ISSN: 2007-0934.
- INEGI: *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, San Pedro Apóstol*, Inst. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México D. F., 2008.
- LANZ, B.; DIETZ, S.; SWANSON, T.: "The expansion of modern agriculture and global biodiversity decline: An integrated assessment", *Ecological Economics*, 144: 260-277, 2018, ISSN: 0921-8009.
- LOZADA, A.M.; ROJAS, B.I.; MASTRETTA, Y.A.; PONCE, M.A.; BURGEFF, C.; ORJUELA, M.A.; OLIVEROS, G.O.: "Las milpas de México", *Oikos*, 17: 10-12, 2017.
- MONDANI, F.; ALEAGHA, S.; KHORAMIVAFI, M.; GHOBADI, R.: "Evaluation of greenhouse gases emission based on energy consumption in wheat Agroecosystems", *Energy Reports*, 3: 37-45, 2017, ISSN: 2352-4847.
- MONTESANO, D.; BLASI, F.; SIMONETTI, M. S.; SANTINI, A.; COSSIGNANI, L.: "Chemical and Nutritional Characterization of Seed Oil from Cucurbita maxima L. (var. Berrettina) Pumpkin", *Foods*, 7(3): 30, 2018.
- PARTON, W.J.; GUTMANN, M.P.; MERCHANT, E.R.; HARTMAN M. D.; ADLER, P.R.; MCNEAL, F.M.; LUTZ, S.M.: "Measuring and mitigating agricultural greenhouse gas production in the US Great Plains, 1870–2000", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(34): E4681-E4688, 2015, ISSN: 0027-8424.
- PINSTRUP, A.P.; HAZELL, P.B.R.: "The impact of the green Revolution and prospects for the future", *Food Review International*, 1(1): 1-25, 1985, ISSN: 8755-9129.
- PISHGAR, K.S.H.; OMID, M.; DAVOUD, H.M.: "On the study of energy use and GHG (greenhouse gas) emissions in greenhouse cucumber production in Yazd province", *Energy*, 59: 63-71, 2013, ISSN: 0360-5442.
- ROHILA, A.K.; MAAN, D.; KUMAR, A.; KUMAR K.: "Impact of agricultural practices on Environment", *Asian J. of Microbiol. Env. Sc.*,

Diego *et al.*: Eficiencia energética y emisiones de gases efecto invernadero en dos agroecosistemas en Oaxaca, México

19(2): 145-148, 2017.

RUIZ, V.J.; MENA, M.N.; DIEGO, N.F.; HERRERA, S.M.: "Productivity and energy efficiency of three tillage systems for maize (*Zea mays* L.) production", *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 76: 66-72, 2015, ISSN: 0120-6230.

SMITH, S.; KURTZ, B.: "Why do US Corn Yields Increase? The contributions of Genetics, Agronomy and Policy Instruments", *AgBioForum*, 18(3): 297-302, 2015.

TAKIA, M.; MOBTAKERB, H.; MONJEZIC, N.: "Energy input–output modeling and economical analyze for corn grain production in Iran", *Energy*, 1(1): 2, 2012, ISSN: 0360-5442.

TEGTMEIER, E.M.; DUFFY, M.D.: "External costs of agricultural production in the United States", *International Journal of agricultural sustainability*, 2(1): 1-20, 2004, ISSN: 1473-5903.

VÁSQUEZ, C.M.A.; CASTAÑEDA, H.E.; LOZANO, T.S.; PÉREZ, L.M.I.; SANTIAGO, M.G.M.; ROBLES, P.C.: "Caracterización de sistemas de cultivo de maíz en regiones del Estado de Oaxaca", *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 4(1): 24-37, 2017.

WOODS, J.; WILLIAMS, A.; HUGHES, J.K.; BLACK, M.; MURPHY, R.: "Energy and the food system", *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554): 2991-3006, 2010, ISSN: 0962-8436.

---

Fidel Diego-Nava, Profesor Titular, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México,

e-mail: [fdiego1954@yahoo.com](mailto:fdiego1954@yahoo.com)

Jaime Ruiz-Vega, e-mail: [fdiego1954@yahoo.com](mailto:fdiego1954@yahoo.com)

Ofelia Martínez-Ruiz, e-mail: [fdiego1954@yahoo.com](mailto:fdiego1954@yahoo.com)

Nancy Merab Pérez-Belmonte, e-mail: [fdiego1954@yahoo.com](mailto:fdiego1954@yahoo.com)

Fernando Ruiz-Ortiz e-mail: [fdiego1954@yahoo.com](mailto:fdiego1954@yahoo.com)

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor

