

FLUJO ENERGÉTICO-ECONÓMICO COMO HERRAMIENTA PARA TIPIFICAR AGROECOSISTEMAS EN EL CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO

Energetic-economic flow as a tool to typify agroecosystems in the center of the state of Veracruz, Mexico

Rubén Purroy-Vásquez¹, Felipe Gallardo-López^{2*}, Pablo Díaz-Rivera², Eusebio Ortega-Jiménez², Silvia López-Ortiz², Glafiro Torres-Hernández³

¹ Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, Desviación Camino Lindero Tametate s/n, Col. La Morita, CP. 92100, Tantoyuca, Veracruz, México.

² Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Km. 88.5 Carretera Federal Xalapa - Veracruz, Predio Tepetates, Municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México.

³ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco, CP. 56230 Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México.

*Autor de correspondencia: felipegl@colpos.mx, felipecp@hotmail.com

Artículo científico recibido: 20 de enero de 2015, **aceptado:** 13 de marzo de 2015

RESUMEN. Los altos costos energéticos y la baja productividad de algunos agroecosistemas (AES) a nivel mundial plantean el reto de proponer estrategias para su rediseño. Para ello, es necesario conocer las relaciones de las estructuras operativas, productivas y financieras de los componentes agropecuarios (CA) que los forman. El objetivo de esta investigación fue evaluar el flujo energético-económico como herramienta para tipificar los AES, con base en su eficiencia de productividad, económica, energética y su índice de diversidad agrícola. Se aplicó una encuesta a productores agropecuarios del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México, se realizaron técnicas de análisis multivariado para diferenciar los tipos de AES: agrupación jerárquica aglomerativa y k-media, ANAVAR y prueba de medias (Tukey; $p < 0.05$). Se identificaron tres tipos de AES: el empresarial (E), transicional diversificado (TD) y tradicional (T), con frecuencias de 37, 17 y 46 %, respectivamente. El tipo E mostró el mejor balance energético-económico y la menor diversidad, debido a que depende principalmente de la caña de azúcar. El TD presentó mayor ingreso total y diversidad agrícola, al manejar en su mayoría una combinación de maíz (M) y ganadería bovina (GB). El T se ubicó en la zona de lomerío, con bajo balance energético-económico, resultado de la baja productividad de sus CA (M y GB). En conclusión, la eficiencia energética-económica de los AES depende de la combinación de los componentes agropecuarios que los conforman, resultado del diseño de los productores, de sus objetivos y de las características agroecológicas de donde se localizan.

Palabras clave: Agroecosistema, eficiencia, energía, productividad, tipología

ABSTRACT. The high energetic costs and the low productivity of some agroecosystems (AES) at a global level pose the challenge of suggesting strategies for its redesign. To this end, it is necessary to know the relations between the operative, productive, and financial structures of the agricultural components (AC) that comprise the AES. The objective of this study was to evaluate the energetic-economic flow as a tool to typify the AES based on their productive, economic, and energetic efficiencies and their agricultural diversity index. The data of a survey answered by agricultural producers of the municipality of Paso de Ovejas, Veracruz, Mexico had multivariate analysis techniques applied in order to differentiate the types of AES: hierarchical agglomerative grouping and k-media, ANVAR and means tests (Tukey; $p < 0.05$). Three types of AES were identified: Entrepreneurial (E), Transitional Diversified (TD), and Traditional (T), with frequencies of 37, 17, and 46 %, respectively. Type E had the most efficient energetic-economic balance and the lowest diversity, predominantly due to the production of sugar cane. Type TD showed a greater total income and agricultural diversity by predominantly managing a combination of corn (C) and cattle farming (CF). Type T was found

in the low hills area, with a low energetic-economic balance as a result of the low productivity of its AC (C and CF). In conclusion, the energetic-economic efficiency of the AES depends on the combination of the agricultural components that comprise them, product design of the producers, objectives and the agro-ecological characteristics of where they are found.

Key words: Productivity, efficiency, energy, agroecosystems, typology

INTRODUCCIÓN

Los agroecosistemas (AES) son aquellos ecosistemas donde se realizan actividades productivas antropogénicas, diferenciándose en dos tipos: el tradicional, con alta agrobiodiversidad y baja utilización de subsidios tanto energéticos como agroquímicos, y el segundo, denominado moderno o tecnificado, que se caracteriza por una excesiva utilización de subsidios (Odum 1984). Los AES modernos o altamente tecnificados proliferaron durante la Revolución Verde, en la década de 1950, logrando satisfacer la demanda de alimentos para una población en continuo crecimiento. Sin embargo, el uso desproporcionado de maquinaria y agroquímicos causó deterioro ambiental, lo que generó debates sobre su implementación (Padilla *et al.* 2014).

Una clasificación adecuada de AES permite establecer un plan de manejo para elevar la sustentabilidad y resiliencia, lo que puede incrementar la rentabilidad económica de la actividad y la creación de empleos (Toro-Mujica *et al.* 2011). Los AES deben proporcionar una producción rentable y sostenida a lo largo del tiempo, a través del uso eficiente de los recursos naturales y económicos, sin desperdicio ni detrimento de los mismos (López-Ridaura *et al.* 2002). En este sentido, Chamarro y Sarandon (2011) reportaron que es importante considerar la relación e interacción de los componentes del cultivo sobre la producción y el uso eficiente de la energía utilizada en los cultivos. En latinoamericana, la clasificación de AES es un marco conceptual y metodológico, que ha servido de guía a las diferentes taxonomías de AES (Vilaboa-Arroniz *et al.* 2009, Chalate-Molina *et al.* 2010). Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el flujo energético-económico, como herramienta para tipificar los AES del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México, con base en su

eficiencia y productividad económica, energética e índice de diversidad agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el municipio de Paso de Ovejas, en el estado de Veracruz, en la región de Sotavento, entre las coordenadas 19° 17' 12" y 19° 18' 26" LN, y 96° 26' 30" y 96° 27' 16" LO, con altitud entre 40 y 280 msnm y superficie de 384.95 km² (INAFED 2002). El municipio tiene los climas cálidos Aw₀ y Aw₁, con temperatura media anual entre 22 y 24 °C (Soto y García 1989).

Las unidades de estudio fueron los AES presentes en el municipio. El marco muestral fue de 3 678 productores beneficiarios de los programas de Apoyos Directos al Campo (PRO-CAMPO), Fomento Ganadero (PROGAN), Diesel Agropecuario de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), así como el padrón de usuarios del sistema del Distrito de Riego número 35, La Antigua, de la Comisión Nacional del Agua. Para la tipificación, se usó la superficie de la parcela, depurando los padrones de productores bajo criterios como: que los productores pertenecieran al municipio; en caso de que se repitieran los nombres de los productores con la misma parcela, sólo se tomó un registro; si los productores tenían varias parcelas en el mismo ejido, se sumaron todas las hectáreas del productor y en el caso de los productores con parcelas en diferentes ejidos, también se sumaron. Otro criterio fue la selección entre programas, se contrastó la información y los productores que eran beneficiarios en varios programas con diferentes parcelas, se seleccionaron las parcelas con mayor superficie, en el entendido de que cada parcela es un AES. Después de depurar la base de datos, quedaron 1 834 productores, que constituyeron el marco muestral (N)

Tabla 1. Estratificación de productores según el tamaño de la parcela (ha).

Estratos	Muy chicos	Chicos	Medianos	Grandes	Muy Grandes
Rangos	0.10-1.75	1.76-2.99	3-4.99	5.0-9.99	>10
Base datos (Ni)	N1= 331	N2=383	N3=554	N4=351	N5=215
Submuestra (ni)	n1=14	n2=17	n3=24	n4=16	n5=10

Tabla 2. Indicadores e índices de biodiversidad de los tipos de AES.

Variables	Tipos de AES		
	Empresarial Tecnificado	Transicional diversificado	Tradicional
Ingreso neto económico por hectárea (Inetha)*	21 879.8 ± 3 302.3 ^{ab}	30 45324. ± 4 834.0 ^b	16 111.1 ± 2 973.5 ^a
Eficiencia económica por hectárea (Eeha)	1.8 ± 0.3 ^a	2.06 ± 0.5 ^a	2.66 ± 0.3 ^a
Productividad económica por MJ invertido (PeΔ)**	1.1 ± 0.1 ^a	0.94 ± 0.1 ^{ab}	0.69 ± 0.5 ^b
Productividad económica por trabajo invertido (Pet)*	120.3 ± 11.5 ^a	74.7 ± 16.9 ^{ab}	72.5 ± 10.4 ^b
Ingreso neto energético por hectárea (InetΔha)**	1 581 723 ± 33 809.7 ^a	723 884 ± 49.492.3 ^b	71 923 ± 30 443.9 ^c
Eficiencia energética por hectárea (EΔha)**	41 ± 1.4 ^a	25.2 ± 2.0 ^b	4.4 ± 1.2 ^c
Productividad energética por dinero invertido (PΔ)**	69.0 ± 2.5 ^a	47.9 ± 3.6 ^b	14.8 ± 2.2 ^c
Productividad energética por trabajo invertido (PΔt)**	4 538.5 ± 182.2 ^a	1 653.3 ± 266.7 ^b	411.6 ± 164.1 ^c
Índice de biodiversidad (Ibio)**	0.2 ± 0.03 ^a	0.4 ± 0.04 ^b	0.3 ± 0.02 ^a

* Diferencia significativa, ** diferencias altamente significativas. Letras iguales en la fila forman parte del mismo grupo (Tukey).

utilizado en este estudio. Con base en la información recabada, se determinó el tamaño de muestra con el método de muestreo aleatorio por estratos (Scheaffer *et al.* 1987). Para el diseño de ésta, se definieron cinco estratos de acuerdo con la superficie del AES, lo que resultó en 81 (Tabla 1) productores dueños de estos AES, que fueron entrevistados.

A través de un registro de las actividades agropecuarias, se identificaron las entradas al AES y salidas, para luego convertirlas a valores de energía, utilizando los factores de conversión propuestos por Pimentel (1993), Muñoz *et al.* (1996), Mora-Delgado *et al.* (2007) y Rathke *et al.* (2007). Los datos concernientes a los ingresos y egresos monetarios se actualizaron a través del método de reexpresión de la información financiera, basada en el Índice Nacional de Precio del Consumidor de acuerdo con lo propuesto por Domínguez (2004) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI 2014).

Ingreso neto anual por hectárea de los AES (Inetha)

Se determinó el ingreso neto anual del AES por ha, cuantificando el ingreso total por ha (Ingtoha) y los costos totales de producción por ha (Ctpha) de cada actividad agropecuaria realizada en el AES. Luego se aplicó la fórmula de sustracción,

que arrojó el ingreso neto anual por ha, el cual se dividió entre los 365 d del año para determinar su valor diario, con la finalidad de compararlo con el salario mínimo oficial de la región.

$$Inetha = \sum_{i=1}^n Ingtoha - \sum_{i=1}^n Ctpha$$

Para la i-ésimo actividad agropecuaria, n = número de actividades agropecuarias.

Eficiencia económica por hectárea (Eeha)

La eficiencia económica se calculó dividiendo la sumatoria del ingreso total por ha (Ingtoha) generado en cada una de las actividades agropecuarias entre la sumatoria del costo total de producción por ha (Ctpha), por actividad, expresado todo en pesos mexicanos.

$$Echa = \frac{\sum_{i=1}^n Ingtoha}{\sum_{i=1}^n Ctpha}$$

Para la i-ésimo actividad agropecuaria.

Donde: i = la i-ésimo actividad agropecuaria, n = número de actividades agropecuarias.

Ingreso energético neto anual por hectárea del AES ($I_{net}\Delta ha$)

Para establecer el $I_{net}\Delta ha$ se calculó la producción total de energía por ha ($pro\Delta ha$) para la i -ésima actividad agropecuaria y el total de energía aplicada por ha ($inv\Delta ha$) para la i -ésima actividad, para ello se determinó la producción e inversión total por hectárea en cada AES y fueron convertidas a valores de energía, utilizando los factores de conversión, para luego aplicar la sustracción.

$$I_{net}\Delta ha = \sum_{i=1}^n pro\Delta ha - \sum_{i=1}^n inv\Delta ha$$

Para la i -ésima actividad agropecuaria

Donde: i = la i -ésima actividad agropecuaria,
 n = número de actividades agropecuarias.

Eficiencia energética por hectárea ($E\Delta ha$)

La $E\Delta ha$ determina el nivel de manejo de los recursos energéticos dentro de los procesos productivos en el AES. Para su cálculo, se dividió la sumatoria de la $Pt\Delta ha$ generada en la i -ésima actividad agropecuaria entre la sumatoria de la energía aplicada por ha ($inv\Delta ha$) en la i -ésima actividad en un periodo de un año, expresando todo en Megajoules (MJ), por lo cual se utilizó conversión de unidades con la fórmula siguiente.

$$E\Delta ha = \frac{\sum_{i=1}^n Pt\Delta ha}{\sum_{i=1}^n inv\Delta ha}$$

Para la i -ésima actividad agropecuaria.

Donde: i = la i -ésima actividad agropecuaria,
 n = número de actividades agropecuarias.

Productividad

Se calculó como la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción o servicios y los recursos utilizados para obtenerla. La determinación de la productividad económica y

energética de los sistemas se calculó a través de los indicadores siguientes:

Indicadores de productividad económica (I_{preag}). La productividad económica permite determinar el comportamiento productivo del AES en pesos mexicanos en relación con unidades de trabajo (h hombre, hh^{-1}) y energía ($\$ MJ^{-1}$).

Indicadores de productividad energética (I_{pragr}). La productividad energética permite definir el comportamiento productivo del AES en MJ. Para lo cual se utilizó la metodología propuesta por Denoia *et al.* (2006), calculando la productividad energética por unidad de trabajo (MJ h hombre, $MJ hh^{-1}$) y monetaria ($\$-1 MJ$).

Índice de biodiversidad agropecuaria. Para obtener el índice de biodiversidad agropecuaria, se calculó el índice de diversidad de Shannon (Shannon y Weaver 1949), el cual toma en cuenta el número de subsistemas agrícolas y la distribución de la superficie para obtener la biodiversidad agropecuaria.

$$H' = - \sum_{i=1}^S [P_i (\log_2 * P_i)]$$

Donde: $p_i = n_i / N$, H' = diversidad, n_i = superficie asignada a cada subsistema agropecuario y N = superficie total del agroecosistema.

Análisis estadístico. Para analizar las variables ingreso económico neto, ingreso energético neto, eficiencia económica, eficiencia energética, indicadores de productividad económica, indicadores de productividad energética e índice de biodiversidad agropecuaria, se aplicaron técnicas multivariadas de agrupación. Primero se realizó un diagrama de árbol o dendrograma, utilizando la agrupación jerárquica aglomerativa, las distancias euclidianas y el algoritmo de ligamiento complejo (Chalate-Molina *et al.* (2010), a través del cual se identificaron tres grupos de AES (Figura 1). Para caracterizarlos, se aplicó la técnica de k-media, que permitió conocer a los integrantes de cada uno y hacer compara-

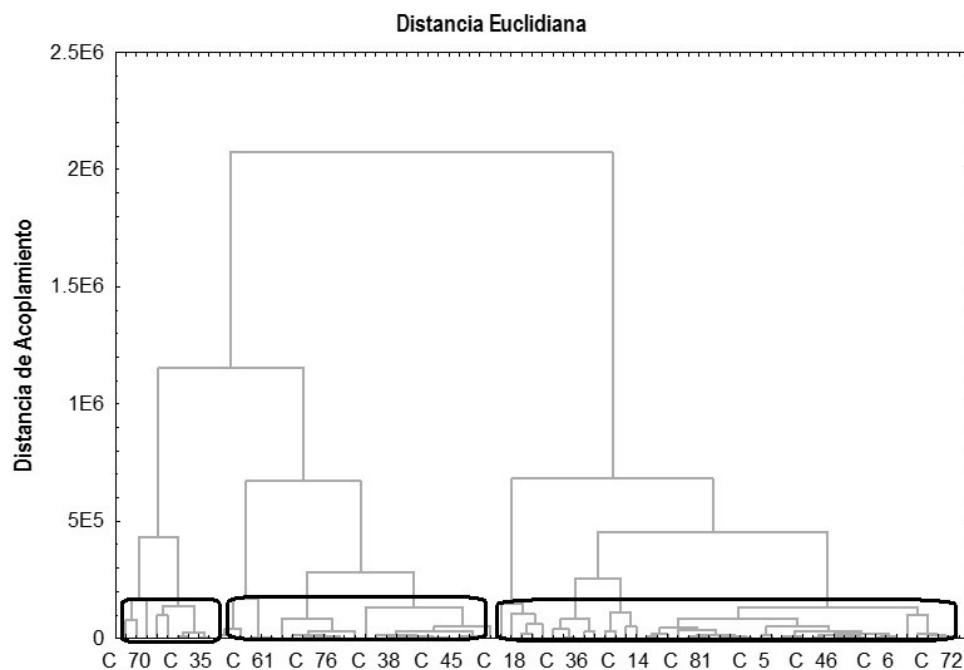


Figura 1. Diagrama análisis conglomerado por el método k-media y dendrograma de los tipos de AES.

ciones entre ellos, de acuerdo con cada variable, para luego realizar un análisis de varianza y pruebas de medias (Tukey; $p < 0.05$) con el objetivo de conocer la diferencia estadística entre grupos. El programa estadístico utilizado fue Statistica.

RESULTADOS

Composición y distribución de los AES

Los principales componentes agropecuarios encontrados en los 81 AES analizados fueron: caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), maíz (*Zea mays* L.) y bovinos (*Bos taurus* y *B. indicu*), seguidos por papaya (*Carica papaya* L.), mango (*Mangifera indica* L.) y otros cultivos minoritarios, como paja para escoba (*Sorghum bicolor* var. *technicum*), pipián (*Cucurbita pepo* L.), sandía (*Citrullus lanatus*), chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) y tamarindo (*Tamarindus indica* L.). En relación con la distribución, 62 % de los AES se localizó en la zona del sistema de riego, teniendo como actividad principal el cultivo de la caña de azúcar en 84

% (Figura 2); en esta misma zona, la ganadería de doble propósito es la segunda actividad con mayor distribución, y en tercer lugar está la siembra de maíz; el restante 38 % de los AES se encuentra en la zona de lomeríos, de las cuales 85 % realiza la siembra de maíz con ganadería en 15 de ellos y en ocho con otros cultivos (Figura 2).

En relación con la identificación de la producción de otros cultivos, se detectó sólo cuatro AES orientados a la siembra de papaya, tres se localizan en el distrito de riego y uno en la zona de lomerío (Figura 2). Mientras que siete AES (9 %) se dedican a la producción de mango, de los cuales cinco se encuentran en el distrito de riego y dos en la zona de lomeríos. En tanto, 13 AES se dedican a la producción de cultivos como chile, paja para escoba, sandía, tamarindo y pipián; lo anterior representa 16 % del total del área sembrada; de estos AES, cinco se ubican en el distrito de riego y ocho en la zona de lomerío (Figura 2).

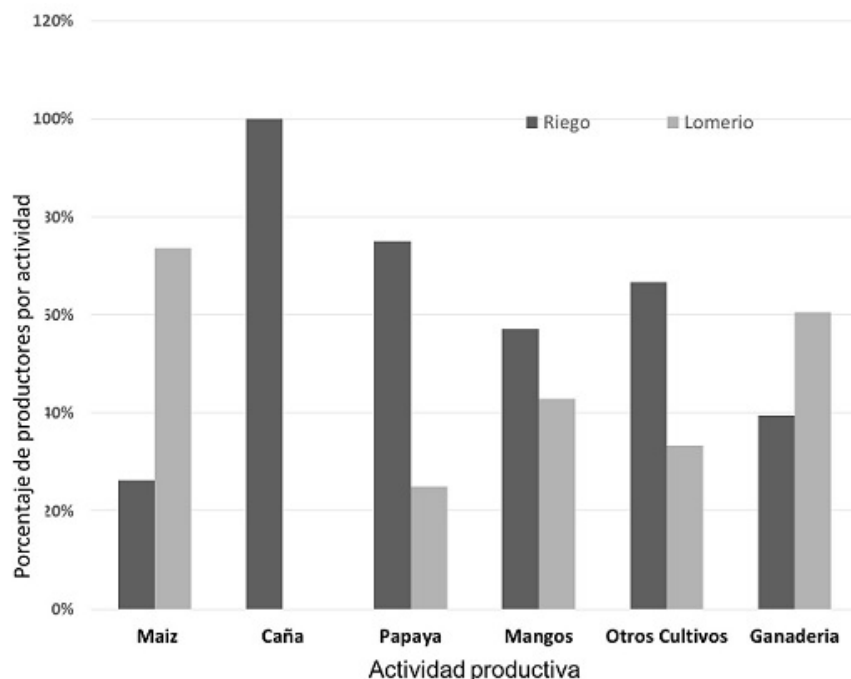


Figura 2. Porcentaje de distribución de los productores por componente y por zona.

Tipos de AES

Como resultado de los análisis de conglomerados, los 81 AES se agruparon en tres grupos que, por sus características, se designaron como empresarial (tecnificado o cañero) (E = 37 %), transicional diversificado (TD = 17 %) y tradicional (T = 46 %), preentando el grupo tradicional diferencias significativas ($P < 0.05$) en las nueve variables analizadas (Figura 1 y Tabla 2).

Descripción de grupos de AES

El grupo empresarial (E) se ubicó en el Distrito de Riego 035 La Antigua; de estos AES, 100 % siembra caña de azúcar; de los cuales, 91 % tiene una superficie total de 3.9 ± 2.1 ha, con una producción total de 105.9 ± 15.3 t ha⁻¹ de caña de azúcar. Del balance de los recursos energéticos que se efectuó a este grupo, se encontró que tiene una $E\Delta$ ha de 40.96 ± 1.38 MJ ha⁻¹, lo que indica que es un AES sostenible, que genera un $inet\Delta$ ha de $1\ 581\ 723 \pm 33\ 809.68$ MJ ha⁻¹, con una $P\Delta$ \$ de 69.04 ± 2.47 MJ \$⁻¹ y $P\Delta$ t de $4\ 538.47 \pm 182.19$

MJ hh⁻¹; sin embargo, por ser monocultivo, tiene un lbio de 0.19 ± 0.03 (Tabla 2 y Figura 3).

Con respecto al balance financiero del grupo E, las actividades realizadas en estos AES tuvieron valores que indican una sustentabilidad financiera aceptable, con Eeha de 2.46 ± 0.41 ; obteniendo $\$1.46 \pm 0.41$ por cada \$1 invertido. Sin embargo, se tiene moderados Inetha de $\$29\ 266.04 \pm 3\ 302.26$ ha⁻¹, lo que equivale a un Inetdiha de $\$80.18 \pm 9.05$ d⁻¹, al compararlo con el salario mínimo oficial de la región, que es de $\$80.23$ d⁻¹, se tiene una diferencia negativa de $\$0.05$ d⁻¹. La $Pe\Delta$ alcanzó $\$1.09 \pm 0.07$ MJ⁻¹, con alta Pet de 120.28 ± 11.54 MJ hh⁻¹. Los AES transicionales diversificados (TD) presentaron una $E\Delta$ ha de 25.8 ± 2.0 , con el $inet\Delta$ ha de $723\ 884 \pm 49\ 492.3$ MJ ha⁻¹, los valores de la $P\Delta$ \$ y $P\Delta$ t fueron de $\$47.9 \pm 3.6$ MJ y $1\ 653.23 \pm 266.7$ MJ hh⁻¹, respectivamente.

De los AES, 99 % TD cultiva caña de azúcar en superficies con un media de 2.9 ± 1.3 ha, con rendimientos de 99.5 ± 18.9 t ha⁻¹, además realiza la siembra de maíz en parcelas con superficie de 2.6

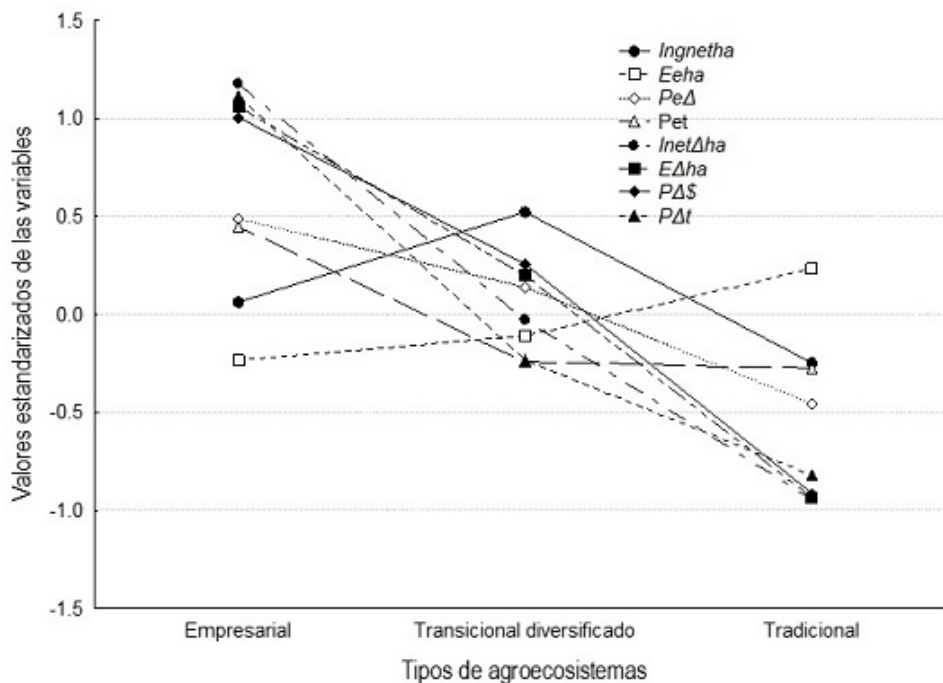


Figura 3. Media estandarizada de ingreso neto económico por hectárea (Inetha), Eficiencia económica por hectárea (Eeha), Productividad económica por MJ invertido (Pe Δ), Productividad económica por trabajo invertido (Pet), Ingreso neto energético por hectárea (Inet Δ ha), Eficiencia energética por hectárea (E Δ ha), Productividad energética por peso invertido (P Δ \$), Productividad energética por trabajo invertido (P Δ t) e, Índice de biodiversidad (Ibio).

± 1.9 ha, con producción de 3.1 ± 0.5 t ha⁻¹. Se encontró una media de 12 ± 6.9 bovinos por productor que los cría en potreros, con Ibio de 0.4 ± 0.04 ha (Tabla 2, Figura 2 y 3). Los AES TD tienen una Eeha de 2.1 ± 0.5 , Pe Δ de $\$0.9 \pm 0.1$ MJ⁻¹, Pet de 74.7 ± 16.9 MJ hh⁻¹, inetha de $\$40\,733.4 \pm 6\,465.9$ ha⁻¹, que corresponde a un Inetdiha de $\$111.6 \pm 17.8$ d⁻¹, lo cual es $\$31.4$ d⁻¹ mayor que el salario mínimo de la región.

De los AES del grupo tradicional, 81 % está ubicado en la zona de lomerío, en 100 % se cultiva maíz de temporal y en 57 % se cría ganado bovino en pastoreo. El análisis energético de estos AES indica que la media general para la eficiencia es de 4.4 ± 1.2 , la productividad energética por peso invertido es de 14.8 ± 2.2 y la productividad energética por trabajo invertido es de 411.6 ± 164.0 , con inet Δ ha de $71\,923 \pm 30\,443.9$ MJ ha⁻¹.

El análisis del manejo económico de estos AES determinó que la media del inetha es de $\$21\,549.9 \pm 3\,977.3$ ha⁻¹, con $\$59.04 \pm 10.9$ d⁻¹ para Inetdiha, con Eeha de 2.66 ± 2.28 . Estos AES tienen una productividad económica en relación con la energía aplicada por ha de $\$0.69 \pm 0.06$ MJ⁻¹ y 72.46 ± 10.39 MJ hh⁻¹ de productividad energética por trabajo invertido.

DISCUSIÓN

Composición y distribución de los AES

El alto porcentaje de AES tipificados como empresariales dedicados a la siembra de caña de azúcar se debe a que la producción tiene venta segura en los ingenios azucareros de la región, lo que garantiza ingresos monetarios, atención médica y pensión de vejez; resultados similares fueron reportados por

Domínguez *et al.* (1999). Lo anterior origina la migración de productores de otros cultivos a la siembra de caña de azúcar; al respecto, Lang-Ovalle *et al.* (2014) indican que la mayoría de los productores actuales de caña de azúcar fueron productores de hortalizas y papayas. El cultivo del maíz se localizó en la zona de lomerío, al respecto Damián-Huato *et al.* (2013) observan que en condiciones de rezago social o de pobreza, el productor se orienta a la siembra de maíz, con la finalidad de garantizar la seguridad alimentaria de la familia.

La actividad ganadera se encontró en los tres tipos de AES, lo cual se debe a que los productores utilizan al ganado como fuente de ahorro, del que disponen en ocasiones especiales o de contingencia familiar (Morales *et al.* 2004). Al respecto, se reporta que la composición agropecuaria de AES tropicales y subtropicales de México incluye el cultivo del maíz y la cría de bovinos, ya que tienen gran importancia para la economía familiar campesina (Gallardo-López *et al.* 2002).

El cultivo de papaya se redujo drásticamente en la zona de temporal en 2004 (SIAP-SAGARPA 2014) debido a problemas fitosanitarios y climáticos (Rojas *et al.* 2011, Cabrera *et al.* 2012). El cultivo del mango presenta un comportamiento similar a la papaya en la zona de lomeríos, debido a las características del fruto obtenido, lo que no permite que alcance los estándares comerciales (Castillo *et al.* 2004). La orientación hacia otros cultivos, como chile, paja para escoba, sandía, tamarindo y pipián, es resultado de la disposición de recursos, así como del propósito del productor y su racionalidad. Al respecto Gallardo-López *et al.* (2002) y Das y Leite (2009) sugieren que las innovaciones de los agricultores familiares propician mejoras en los elementos constitutivos de la sostenibilidad del sistema, haciendo posible el uso sostenible de la tierra y asegurando un aumento de la rentabilidad, la manutención del trabajo familiar y la estructuración del AES; mientras que Koohafkan *et al.* (2011) proponen que la diversificación de los sistemas agropecuarios no necesariamente está en función de un incremento de la productividad, sino que depende de la racionalidad que tiene el productor para la combi-

nación o diseño de los elementos y componentes del AES.

Tipos de AES

Debido a la problemática energética mundial, el enfoque de análisis energético-financiero de los AES cobra importancia. La aplicación de este enfoque permitió la identificación de tres tipos de AES. El AES empresarial, en su mayoría, son productores de caña de azúcar, con una producción de $105.9 \pm 15.3 \text{ t ha}^{-1}$, lo cual es superior a las 75 t ha^{-1} reportadas para el estado de Veracruz y las 78.16 t ha^{-1} reportadas a nivel nacional (SIAP-SAGARPA 2014). En relación con el análisis del balance de los recursos energéticos, donde se consideró la energía utilizada contra la generada en el grupo, se desprende que son AES sostenibles energéticamente, lo cual coincide con Zermeño-González *et al.* (2012), quienes afirman que la caña es un cultivo productor de energía.

Con respecto al balance financiero del AES empresarial, se encontraron valores que indican una sustentabilidad financiera moderada, $Pe\Delta$ baja, con alta Pet , lo cual se debe a que un alto porcentaje de los productores se dedica a la siembra de caña de azúcar con un elevado uso de tecnología, siendo absorbida esta producción por los ingenios, lo que garantiza estabilidad económica y social (Domínguez *et al.* 1999). por su parte, López-Ridaura *et al.* (2002) reportaron que en estos AES se tienen innovaciones tecnológicas que elevan la productividad del trabajo, como se puede observar en la Tabla 2 y Figura 3.

En 99 % de los AES transicionales diversificados se realiza la siembra de caña de azúcar, con rendimientos que superan el promedio estatal y nacional (SIAP-SAGARPA 2014), con moderado manejo de recursos energéticos; al respecto Funes-Monzote *et al.* (2011) aseguran que en los AES con altos ingresos de insumos externos, los indicadores de eficiencia energética se afectan de forma negativa. Dicho moderado manejo de los recursos energéticos en estos AES se debe a que en 36 % de ellos se cría ganado bovino de doble propósito, con baja productividad como resultado de la alimentación con residuos altamente fibrosos.

La eficiencia intermedia en el uso de los recursos económicos con una mediana diversificación de producción de estos AES les permite enfrentar mejor los cambios de precios de los productos en el mercado. Sobre ello, Altieri (2002), Méndez *et al.* (2013) y Machado *et al.* (2015) sugieren que la mayor biodiversidad agrícola y una estructura funcional permiten a los productores de menores recursos económicos tener mayor seguridad alimentaria y ventajas competitivas en el mercado. El grupo tradicional de AES genera bajos ingresos, con baja eficiencia económica y energética; en la mayoría, se siembra maíz de temporal y se cría ganado bovino de doble propósito, productividad y rentabilidad, lo cual también fue reportado por Brunett *et al.* (2012) y Cortés *et al.* (2012).

CONCLUSIONES

El uso del flujo energético-económico de los agroecosistemas es una herramienta factible de utilizar para caracterizar y tipificar AES. En esta inves-

tigación se tipificaron agroecosistemas de acuerdo con la racionalidad y uso de los recursos por parte del productor, de sus ingresos, eficiencia energética y financiera e índice de biodiversidad. Se encontraron tres tipos de AES: empresarial tecnificado, transicional diversificado y tradicional. El primero tiene el mayor balance energético y económico con menor biodiversidad. El segundo muestra balance energético y económico similar al empresarial, pero con mayor biodiversidad e ingreso total. Mientras que el tradicional reportó la menor eficiencia energética y financiera.

AGRADECIMIENTOS

A los directivos del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, en especial, a los integrantes de la línea de investigación en Agroecosistemas Sustentables, por su apoyo para concluir la investigación. Al Ingeniero Francisco Javier Hernández Luna, Director General del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, por su apoyo institucional.

LITERATURA CITADA

- Altieri MA (2002) Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. En: Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable. Sarandón SJ (Ed). Ediciones Científicas Americanas. Buenos Aires, Argentina. pp: 27-34.
- Brunett L, González C, García L (2005) Evaluación de la sustentabilidad de dos AES campesinos de producción de maíz y leche, utilizando indicadores. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 17, Article 78. <http://lrrd.cipav.org.co/lrrd17/7/pere17078.htm>. Fecha de consulta 20 de abril de 2015.
- Cabrera MD, García HD, Caballero AMW, García MPL, Portal VO (2012) Manejo de la mancha anular de la papaya mediante el uso de malla antiáfidos en viveros de *Carica papaya* L. var. Maradol roja. *Fitosanidad* 15: 241-244.
- Cámara IS, Mariña FA (2010) Naturaleza y perspectivas de la actual crisis: una caracterización marxista de largo plazo. *Política y cultura* 34: 7-31.
- Castillo J, Villanueva J, Ortega L (2004) Capacitación de productores en investigación-acción: estudio de caso del control biológico del minador de la hoja de los cítricos. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 4: 15-20.
- Chalate-Molina H, Gallardo-López F, Pérez-Hernández P, Lang-Ovalle FP, Ortega-Jiménez E, Vilaboja AJ (2010) Características del sistema de producción bovinos de doble propósito en el estado de Morelos, México. *Zootecnia Tropical* 28: 329-339.
- Chamorro AM, Sarandon SJ (2011) 10636-Eficiencia en el uso de la energía de distintas secuencias agrícolas en el Partido de Tres Arroyos, Buenos Aires, Argentina. *Cadernos de Agroecología* 6: 1-5.

- Cortés Mora JA, Cotes Torres A, Cotes Torres JM (2012) Características estructurales del sistema de producción con bovinos doble propósito en el trópico húmedo colombiano. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 25: 229-239.
- Damián-Huato MA, Cruz-Leon A, Ramirez-Valverde B, Romero-Arenas O, Moreno-Limón S, Reyes-Muro L (2013) Maíz, alimentación y productividad: modelo tecnológico para productores de temporal de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 10: 157-176.
- Das Chagas Oliveira F, Leite LFC (2009) Evaluación de innovaciones en el manejo de los agroecosistemas agrícolas campesinos como subsidio al proceso de transición agroecológica en el territorio de Carnaubais, región Medio-Norte de Brasil. *Cadernos de Agroecología* 4: 2144-2148.
- Denoia J, Vilche M, Montico S, Tonel B, Di Leo N (2006) Análisis descriptivo de la evolución de los modelos tecnológicos difundidos en el Distrito Zavalla (Santa Fe) desde una perspectiva energética. *Ciencia, Docencia y Tecnología* 33: 209-226.
- Domínguez OJ (2004). Reexpresión con el Boletín B-10, México, Instituto Superior de Estudios Fiscales. pp: 43-74
- Domínguez T, Aguilar A (1999) Diagnóstico de la unidad de riego Puente Nacional, Veracruz. *Terra* 17: 345-354.
- Funes-Monzote FR, Martín GJ, Suárez J, Blanco D, Reyes F, Cepero L, Sánchez JE (2011) Evaluación inicial de sistemas integrados para la producción de alimentos y energía en Cuba. *Pastos y Forrajes* 34: 445-462.
- Gallardo-López F, Riestra D, Aluja-Schunemann A, Martínez-Dávila JP (2002) Factores que determinan la diversidad agrícola y los propósitos de producción en los AES del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. *Agrociencia* 36: 495-502.
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED) (2005) Enciclopedia de los Municipios de México. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM30veracruz/index.html>. Fecha de consulta 12 de enero de 2014.
- Hernández-Castro E, Martínez-Dávila JP, Gallardo-López F, Villanueva-Jiménez JA (2008) Aceptación de nueva tecnología por productores ejidales para el manejo integrado del cultivo de papayo. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 8: 279-288.
- Koohafkan P, Altieri MA, Giménez EH (2012) Green agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. *International Journal of Agricultural Sustainability* 10: 61-75.
- Kuesters J, Lammel J (1999) Investigations of the energy efficiency of the production of winter wheat and sugar beet in Europe. *European Journal of Agronomy* 11:35-43.
- Lang-Ovalle FP, Pérez-Vázquez A, Martínez-Dávila JP, Platas-Rosado DE, Ojeda-Enciso L A, Ortega-Zaleta DA (2014) Actitud hacia el cambio de uso de suelo en la región golfo centro de Veracruz, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 23: 1-10
- López-Ridaura S, Masera O, Astier M (2002) Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework. *Ecological indicators* 2: 135-148.
- Machado VMM, Nicholls CI, Márquez SM, Turbay S (2015) Caracterización de nueve agroecosistemas de café de la cuenca del río Porce, Colombia, con un enfoque agroecológico. *IDESIA* 33: 69-83.
- Méndez VE, Bacon CM, Olson MB, Morris KS, Shattuck A (2013) Conservación de agrobiodiversidad y medios de vida en cooperativas de café bajo sombra en Centroamérica. *Revista Ecosistemas* 22: 16-24.

- Mora-Delgado J, Ramírez C, Quirós O (2007) Mano de obra, análisis beneficio-costos y productividad de la energía en la caficultora campesina de Puriscal, Costa Rica. Cuadernos de Administración 20: 49-76.
- Morales M, Martínez J, Torres G, Pacheco J (2004) Evaluación del potencial para la producción ovina con el enfoque de AES en un ejido de Veracruz, México. Técnica Pecuaria México 42: 347-359.
- Muñoz M, Chávez A, Pérez-Gil F, Roldán JA, Hernández S, Ledesma JA, et al. (1996) Tablas de valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en México. Editorial Pax. México, DF. 330p.
- Odum E (1984) Properties of agroecosystems. In: Agricultural Ecosystems. Lowrance R, Stinner BR and House GJ (Eds) Willey Interscience, New York, USA. pp: 5-11.
- Padilla AMG, Medina LJO (2014) Impacto en agroecosistemas generado por pesticidas en los sectores Vichanzao, El Moro, Santa Lucía de Moche y Mochica Alta, Valle de Santa Catalina, La Libertad, Perú. SCIENDO 15: 1-14.
- Pimentel D (1993) Economics and energetics of organic and conventional farming. Journal of Agricultural and Environmental Ethics 6: 53-59.
- Rathke GW, Wienhold J, Wilhelm W, Diepenbrock W (2007) Tillage and rotation effect on corn-soybean energy balances in Eastern Nebraska. Soil y Tillage Research 97: 60-70.
- Rojas-Martínez RI, Zavaleta-Mejía E, Rivas-Valencia P (2011) Presencia de fitoplasmas en papaya (Carica papaya) en México. Revista Chapingo Serie Horticultura 17: 47-50.
- Scheaffer L, Mendenhall W, Ott L (1987) Elementos de muestreo. Grupo Editorial Iberoamérica, México. 321p.
- Secretaría del Trabajo y Prevención Social (STPS)(2014) Comisión nacional de los salarios mínimos.
- Shannon CE, Weaver W (1949). The mathematical theory of communication. The University of Illinois Press. Urbana, Illinois. 117p
- SIAP-SAGARPA (2014) Anuario estadístico de producción agrícola. <http://www.azucar.gob.mx/index.php?portal=cania>. Fecha de consulta 2 de agosto de 2014
- Soto M, García E (1989). Atlas climático del estado de Veracruz. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México. 125p.
- Toro-Mújica P, García A, Gómez-Castro AG, Acero R, Perea J, Rodríguez-Estévez V (2011) Sustentabilidad de agroecosistemas. Archivos de Zootecnia 60: 15-39.
- Vilaboa-Arroniz J, Díaz-Rivera P, Ruiz-Rosado O, Platas-Rosado D, González-Muñoz S, Juárez-Lagunes F (2009) Caracterización socioeconómica y tecnológica de los AES con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México. Tropical and Subtropical Agroecosystems 10: 53-62.
- Zermeño-González A, Villatoro-Moteno S, Cortés-Bracho JJ, Cadena-Zapata, M, Catalán-Valencia EA, García-Delgado MÁ, et al. (2012) Estimación del intercambio neto de CO₂ en un cultivo de caña de azúcar durante el ciclo de plantilla. Agrociencia 46: 579-591.