

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS AGRÍCOLAS FAMILIARES BAJO CONDICIONES DE CLIMA CONTROLADO

Zoe Arturo Guadiana-Alvarado, Héctor Martín Durán-García, Erich Dietmar Rössel-Kipping, Marcos Algara-Siller y Rodolfo Cisneros-Almazán

RESUMEN

Con el fin de analizar el flujo de energía y calcular el indicador de eficiencia energética, se evaluaron tres invernaderos de baja escala con dos sistemas de producción de cultivos; el primero es un sistema de producción convencional en monocultivo de tomate con alto consumo de energía proveniente de combustible fósil, fertilizantes químicos, insecticidas y herbicidas, entre otros insumos, y fue comparado con un sistema alterno de policultivo, de chile, tomate, zanahoria, calabaza, melón, rábano y cilantro, bajo un enfoque de producción sostenida que utiliza abonos naturales, control natural de plagas, reciclaje óptimo de nutrientes y materia orgánica, población de plagas balanceada

y uso múltiple del suelo. Se trabajó en condiciones de aridez y semi-aridez, y se concluyó que el sistema de producción alterno tiene una eficiencia energética promedio de 1,63MJ producidos por cada MJ de entrada. Por otro lado, el sistema convencional tiene una eficiencia promedio de 0,52MJ producidos por cada MJ de entrada. En cuanto a la productividad proteica, el cultivo alterno requirió 20h de trabajo humano por cada kg de proteína, mientras que con el sistema convencional se requieren 118h. El sistema alterno demostró mejores eficiencias en ambos parámetros: 3,13 veces mejor para eficiencia energética y 5,9 veces mejor desempeño en productividad proteica.

Introducción

Los sistemas agrícolas son sistemas abiertos que interactúan con procesos de la naturaleza y la sociedad; el desarrollo de un sistema alimentario sostenible requiere de poner atención en la eficiencia del proceso de conversión de los recursos naturales hasta que lleguen a la mesa de los consumidores; incluye análisis de producción, procesamiento, comercialización y consumo de alimentos (Francis *et al.*, 2003). Uno de los factores de mayor importancia en todo sistema de producción es el consumo de energía y la agricultura no es la excepción; mientras el sistema de producción agroindustrial derrocha gran cantidad de energía, el sistema familiar tiene serios problemas para sustentar la

energía necesaria para su desarrollo. En términos energéticos, un sistema de producción agrícola puede ser interpretado como un convertidor de energía solar en alimentos, mediante la fotosíntesis y uso de insumos como combustibles, fertilizantes, pesticidas y semillas. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2003) señala que la subsistencia de 2570 millones de personas depende de la agricultura, la caza, la pesca y la silvicultura, en este sentido la agricultura impulsa la economía de la mayoría de los países en desarrollo. Resalta por su importancia la agricultura familiar, la cual para entenderla es necesario situarse en el contexto local de cada país, pues de acuerdo a su naturaleza puede variar según la extensión y

la economía, además de que el grupo de productores está sujeto a procesos de transición como resultado de los diferentes factores sociales y económicos (Acosta y Rodríguez, 2004). Duch (1998) clasificó a los agricultores rurales según la extensión de tierra dedicada a la producción agrícola e indica que la diferencia entre grupos muestra la capacidad para producir alimentos, satisfacer las necesidades de consumo y su participación en la economía local.

La energía es un ente físico que existe por doquier bajo distintas formas y constituye, junto con la materia, la base de todos los fenómenos que tienen lugar en el universo; es la capacidad que tiene un cuerpo para realizar un trabajo, producir un cambio o transformación. La energía está disponible para los

agroecosistemas a partir de dos fuentes fundamentales: la ecológica y la cultural. La energía ecológica es aquella que proviene del sol y de otros recursos naturales e interviene en la producción de energía química a través de la fotosíntesis. La energía cultural es la que suministran los seres humanos a fin de optimizar la producción de biomasa en los agroecosistemas. Existen dos fuentes de energía cultural: la biológica (de origen animal o humano - estiércol o energía de la biomasa) y la industrial (electricidad, gasolina, petróleo, gas natural, fertilizantes, maquinaria, etc.).

Respecto a las necesidades y los suministros de energía alimentaria, en México el comportamiento de la estructura de la población se ha ido

PALABRAS CLAVE / Agricultura / Energía / Sustentabilidad /

Recibido: 06/12/2018. Modificado: 28/01/2021. Aceptado: 30/01/2021.

Zoe Arturo Guadiana-Alvarado. Doctor en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.

Héctor Martín Durán-García (Autor para correspondencia). Doctor Ingeniero Agrónomo, Universidad Politécnica de Madrid,

España. Profesor-Investigador, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. Dirección: Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. Calle Altair No. 200, Colonia del Llano, San Luis Potosí, SLP. Código Postal 78377. México. e-mail: hduran@uaslp.mx.

Erich Dietmar Rössel-Kipping. Doctor en Ingeniería Mecánica, Universidad de Rostock, Alemania. Profesor-Investigador, Colegio de Postgraduados, México.

Marcos Algara-Siller. Doctor en Ciencias Ambientales,

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. Profesor-Investigador, UASLP, México.

Rodolfo Cisneros-Almazán. Doctor en Fertilización, Colegio de Postgraduados, México. Profesor-Investigador, UASLP, México.

ENERGY EFFICIENCY IN FAMILY FARMING SYSTEMS UNDER CLIMATE CONTROLLED CONDITIONS

Zoe Arturo Guadiana-Alvarado, Héctor Martín Durán-García, Erich Dietmar Rössel-Kipping, Marcos Algara-Siller and Rodolfo Cisneros-Almazán

SUMMARY

In order to evaluate energy flux and balance and to calculate the energy efficiency index, three different low scale greenhouses are evaluated with two crop production systems. Firstly, a conventional tomato monocropping system is evaluated on a high energy consumption rate from fossil fuels, chemical fertilizers, pesticides and herbicides. Secondly, an alternative multi-cropping is analyzed under a sustained production base system consisting of natural composts, natural pest control and balanced pest population, nutrient and organic matter recycling, and multiple purpose soil use. This alternative production site included crops such as hot pepper, tomato, carrot, pumpkin,

cantaloupe, radish and coriander. The experiment was run under arid and semi-arid climate conditions and it is concluded that the alternative system showed an energy efficiency of 1,63MJ produced by every MJ of energy input. On the other hand, the conventional system only produced 0,52MJ of energy for every MJ of entry. In terms of protein productivity, the alternative crop system utilized 20h of human labor for one kg of protein, while the conventional crop needed up to 118h. The alternative crop system showed better performance for both parameters: 3,13 times as much energy as the conventional system and up to 5,9 times of protein productivity.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS AGRÍCOLAS FAMILIARES SOB CONDIÇÕES DE CLIMA CONTROLADO

Zoe Arturo Guadiana-Alvarado, Héctor Martín Durán-García, Erich Dietmar Rössel-Kipping, Marcos Algara-Siller e Rodolfo Cisneros-Almazán

RESUMO

Com o objetivo de analisar o fluxo de energia e calcular o indicador de eficiência energética, foram avaliadas três estufas de pequeno porte com dois sistemas de produção de cultivos; o primeiro é um sistema de produção convencional em monocultura de tomate com alto consumo de energia proveniente de combustível fóssil, fertilizantes químicos, inseticidas e herbicidas, entre outros insumos, e foi comparado com um sistema alternativo de policultura, de pimenta chili, tomate, cenoura, abóbora, melão, rabanete e coentro, sob uma abordagem de produção sustentável que utiliza fertilizantes naturais, controle natural de pragas, reciclagem ótima de nutrientes e matéria orgânica, população de

pragas equilibrada e uso múltiplo do solo. Trabalhou-se em condições áridas e semiáridas, e concluiu-se que o sistema de produção alternativo tem eficiência energética média de 1,63MJ produzidos por cada MJ de entrada. Por outro lado, o sistema convencional tem eficiência média de 0,52MJ produzidos por cada MJ de entrada. Em relação à produtividade proteica, o cultivo alternativo requereu 20h de trabalho humano por cada kg de proteína, enquanto que com o sistema convencional são requeridas 118h. O sistema alternativo demonstrou melhores eficiências em ambos os parâmetros: 3,13 vezes melhor para eficiência energética e 5,9 vezes melhor desempenho em produtividade proteica.

modificando de manera tal que la población urbana representó en el año 2000 el 74,4% y para el año 2030 representará el 81,9%; siendo entendible que los suministros de energía alimentaria (SEA) sean superiores (FAO, 2013). El análisis de cómo se capta y degrada la energía en la producción agrícola constituye un instrumento para entender su significado e importancia, pues la agricultura moderna (propia de los países industrializados) requiere de aportes de energía fósil en todas las etapas de la producción, tales como maquinaria agrícola, tecnificación del riego, operaciones de cultivo y cosecha; además del empleo de energía a través de herbicidas, insecticidas y fertilizantes minerales (Severe y Vera, 2014);

siendo esos requerimientos energéticos tan potentes que hacen de la agricultura moderna un proceso energéticamente deficitario (Salgado, 2015); es decir, exige un aporte calórico superior al obtenido posteriormente en forma de alimentos. Con el objetivo de analizar el flujo de energía y calcular el indicador de eficiencia energética, en condiciones de aridez y semi-aridez se evaluaron tres invernaderos de baja escala con dos sistemas de producción de cultivos.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en la comunidad de San Juanico el Chico, municipio de la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P., México, donde el clima,

según la clasificación climática de Köppen, modificado por García (1978) corresponde a un BS o KW (w)(i), que equivale a un clima seco-estepario frío, con temperatura media anual de 18°C, siendo 7,5°C la mínima y 35°C la máxima, con precipitación media anual de 374mm. Se evaluaron tres invernaderos de baja escala con dos sistemas de producción, el primero (convencional) es un sistema de producción agrícola que basa su fortaleza en el consumo de altos niveles de energía (fósil, abonos químicos sintéticos, insecticidas, herbicidas, etc.) y es un unicultivo; el segundo (alterno), es un sistema de producción agrícola en el que se promueve el desarrollo de microorganismos benéficos a la agricultura y se

utilizan abonos naturales, buscando un ambiente balanceado, rendimiento y fertilidad del suelo sostenido, control natural de plagas, óptimo reciclaje de nutrientes y materia orgánica, flujo cerrado de energía, población de plagas balanceada y uso múltiple del suelo.

El análisis de la información *input/output* se realizó según lo recomendado por Guevara *et al.* (2015), e implica identificar y caracterizar los componentes del sistema de producción (entradas/salidas y relación entre componentes); esto es, horas de trabajo humano por ha, energía invertida ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), rendimiento productivo ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), energía producida ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), proteína producida ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), proteína de origen vegetal producida ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), personas que se

alimentan con proteína de origen vegetal (personas/ha), costo energético de la proteína ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$), productividad energética del trabajo ($\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}$), productividad proteica del trabajo ($\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}$), balance energético. La caracterización de las unidades de producción se realizó por medio de indicadores descriptivos (infraestructura, organización, recursos materiales e inversión). Se consideraron todos los ingresos de energía al sistema (directa: maquinaria, combustible, lubricante, mano de obra; e indirecta: semilla, herbicida, insecticida, funguicida y fertilizante), representando en su conjunto la totalidad. Los indicadores energéticos obtenidos se convierten a unidades equivalentes en MJ por unidad de peso o volumen.

Resultados y Discusión

Las entradas de energía que se tienen en el sistema de agricultura convencional son por un lado el sol y el agua y por otro lado la entrada de energía mecánica que comprende el uso de aparatos eléctricos y maquinaria de uso agrícola; además de la entrada de energía biológica por medio del trabajo humano y en forma adicional, los insumos al cultivo (pesticidas de uso agrícola, fertilizantes y semillas). La energía producida en el sistema está representada por los frutos de tomate (Figura 1). En el sistema alternativo las entradas de energía, al igual que en el sistema de agricultura convencional son por un lado el sol y el agua y por el otro lado la energía mecánica que comprende el uso de aparatos eléctricos y maquinaria de uso agrícola en general, la energía biológica por medio del trabajo humano y los insumos al cultivo (pesticidas de uso agrícola, fertilizantes y semillas). La energía producida en el sistema está representada por los frutos de chile verde, calabaza, melón, rábano y cilantro (Figura 2). Las horas de trabajo humano invertidas en el ciclo para el sistema convencional y alternativo se presentan en la Tabla I. El método de preparación del

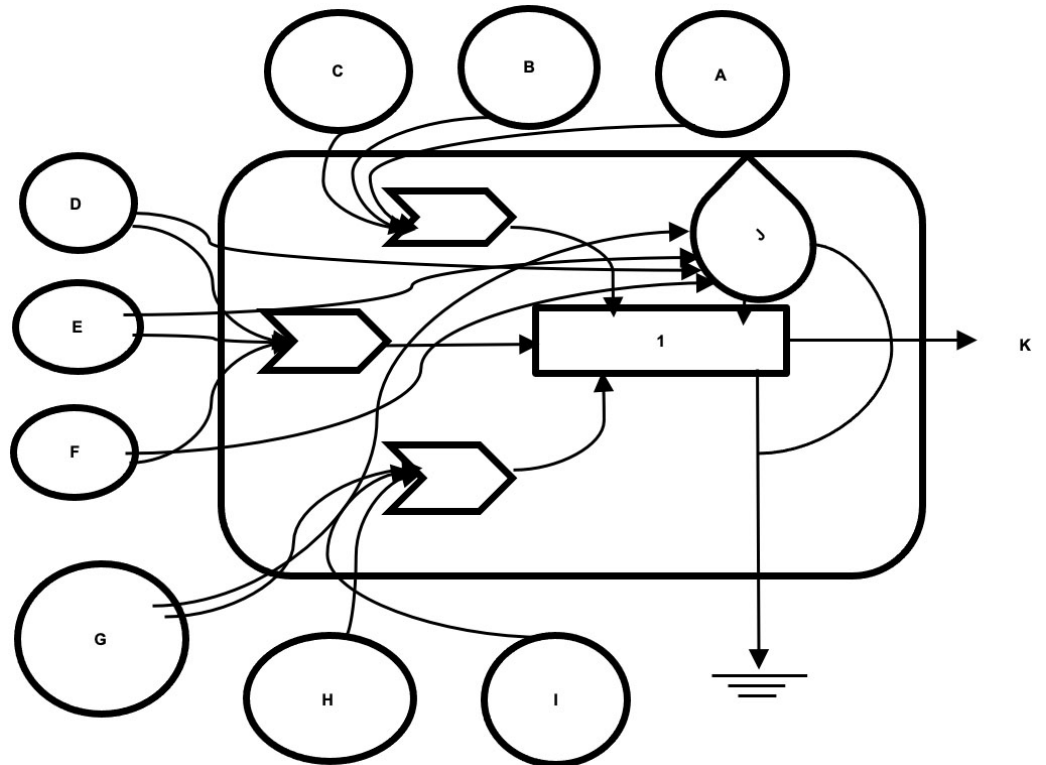


Figura 1. Esquema del sistema convencional de cultivo. A: trabajo humano, B: maquinaria, C: electricidad, D: sol, E: lluvia, F: agua, G: pesticida, H: fertilizante, I: semilla de tomate, K: tomate (fruto).

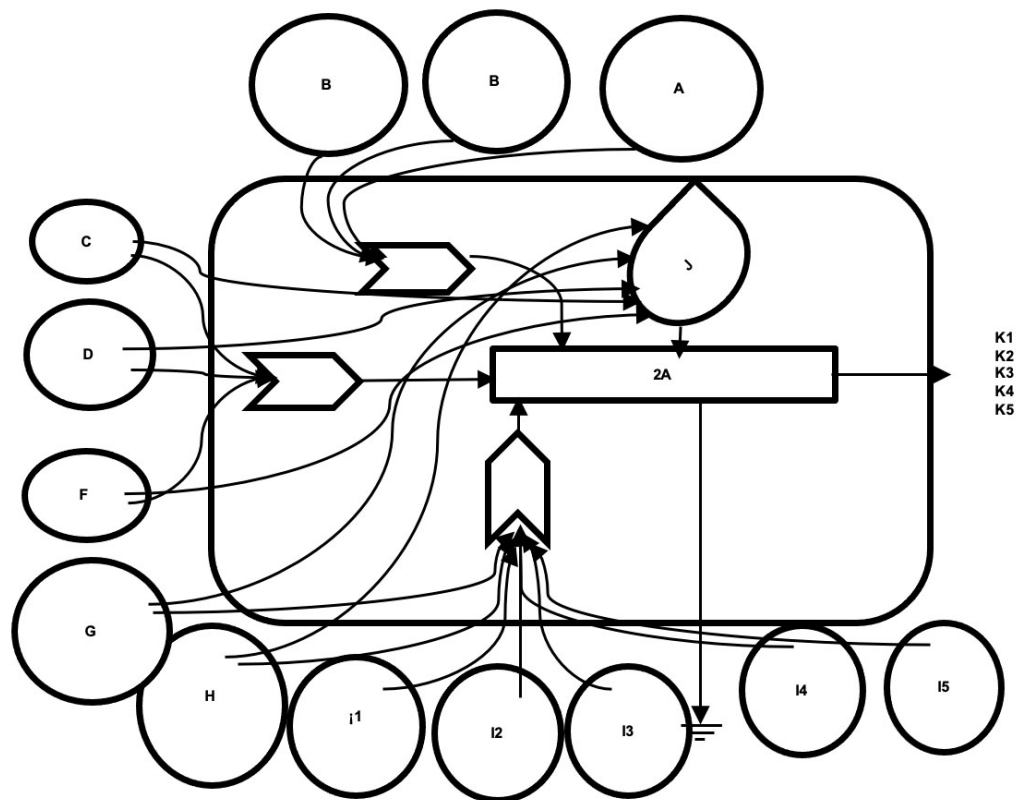


Figura 2. Esquema del sistema de producción alternativo. A: trabajo humano, B: maquinaria, C: electricidad, D: sol, E: lluvia, F: agua, G: biopesticida, H: fertilizante orgánico, I: semilla de 1: chile verde, 2: calabaza, 3: melón, 4: rábano, 5: cilantro, K1-5: chile verde, calabaza, melón, rábano, cilantro.

TABLA I
HORAS DE TRABAJO, ENERGÍA INVERTIDA, RENDIMIENTO PRODUCTIVO Y ENERGÍA PRODUCIDA

Sistema	Unidad	h·ha ⁻¹	MJ·ha ⁻¹	t·ha ⁻¹	MJ·ha ⁻¹
Convencional	A	4666,67	10748,20	4,3	3600
Convencional	B	6200	8608,85	6	4800
Convencional	C	4880	5523,40	3,4	3880
Alterno	A	9500	12721,06	5,55	20925
Alterno	B	6166,67	8211,06	4,4	11536,67
Alterno	C	8800	11258,09	4,64	21672

suelo en el sistema convencional es el de surcos a una profundidad de 20cm, mientras que para el sistema alterno es el de doble excavación, que consiste en remover el suelo hasta una profundidad de 60cm; esta actividad se realiza cada tres años, por lo que en el segundo ciclo la energía se reduce, representando una ventaja sobre el sistema convencional, en el que ciclo tras ciclo la preparación del suelo es una constante, coincidiendo con la información reportada por Rostrán (2016). Se puede observar que la energía invertida está relacionada con la fuerza de trabajo, siendo mayor en el sistema alterno, lo que atribuimos a la preparación del suelo pues en el sistema convencional el suelo se remueve a una profundidad de 20cm y se realiza cada ciclo, mientras que en el sistema alterno se remueve a una profundidad de 60cm y se realiza cada tres años. El rendimiento de las hortalizas producidas en el sistema convencional en la mayoría de los casos es menor que el rendimiento productivo de las hortalizas producidas por el método alterno. El rendimiento productivo está directamente relacionado con la cantidad de biomasa cosechada en toneladas por hectárea (t·ha⁻¹); aunque se observa que los rendimientos son muy similares, la calidad de la proteína se ve reflejada por la variedad de productos cosechados, pues en el sistema convencional solo se cosechó tomate, mientras que en el sistema alterno se cosechó chile, tomate, zanahoria, calabaza, melón, rábano y cilantro. Osorio (2008) menciona que dos

aspectos relevantes para alcanzar la sustentabilidad son: 1) cantidad y calidad de los alimentos que requiere la población y 2) que los bioproductos o fertilizantes orgánicos que se utilicen para combatir plagas o arvenses no dañen los alimentos, o que el daño sea el menor posible. En el ciclo de cultivo por el método alterno, la energía se obtiene aprovechando restos forestales, subproductos agrícolas y residuos de explotaciones ganaderas (García, 2012). La actividad agropecuaria puede ser considerada como un proceso de conversión de energía, donde la energía solar, a través de la fotosíntesis, es

transformada en alimento para los seres humanos y forraje para los animales (Denoia y Montico, 2010).

La proteína producida (kg·ha⁻¹), número de personas que se puede alimentar por hectárea (personas/ha), personas alimentadas con proteína de origen vegetal (personas/ha) y costo energético de la proteína (MJ·kg⁻¹), se muestran en la Tabla II. La cantidad y calidad de la proteína varía de acuerdo al producto. Rozano *et al.* (2004) mencionan que la calabaza aporta el 1%, la lechuga el 8,4%, el pepino el 1%, el rábano el 0,86%, el tomate el 1% y la zanahoria el 2,5%,

siendo claro que dada la variedad de hortalizas producidas y cosechadas, es el sistema alterno el que aporta la mayor cantidad de proteína, pues en el sistema convencional solo se produce tomate. El número de personas que se pueden alimentar con la energía producida en un ciclo de cultivo por el método convencional es menor que por el sistema alterno. Esto quiere decir que con el sistema alterno se puede alimentar a más gente y de forma más variada. Ahora bien, es necesario destacar que los métodos para producir alimentos del agronegocio están degradando rápidamente los mejores suelos, provocando su compactación, salinización, esterilización, erosión y pérdida de biodiversidad. Las cosechas que durante décadas aumentaron por la llamada 'Revolución Verde' están llegando a su máximo. El sistema de producción alterno produce mayor cantidad de proteína con respecto al sistema convencional, pues por la variabilidad de especies producidas se tiene la capacidad para alimentar a un mayor número de personas. Vía Campesina (<https://www.viacampesina.org/>)

TABLA II
PROTEÍNA PRODUCIDA, PERSONAS ALIMENTADAS POR HA, PERSONAS ALIMENTADAS CON PROTEÍNA DE ORIGEN VEGETAL Y COSTO ENERGÉTICO DE LA PROTEÍNA

Sistema	Invernadero	Proteína (kg ha ⁻¹)	Personas*/ha	Personas**/ha	Costo (MJ kg ⁻¹)
Convencional	A	41	0,842	1,608	262,15
Convencional	B	54	1,122	2,118	159,42
Convencional	C	37,6	0,907	1,475	146,90
Alterno	A	500,9	4,892	19,643	25,40
Alterno	B	233	2,697	9,139	35,24
Alterno	C	549,4	5,066	21,553	20,49

*Personas alimentadas. **Personas alimentadas con proteína.

TABLA III
PRODUCTIVIDAD ENERGÉTICA DEL SISTEMA, PRODUCTIVIDAD ENERGÉTICA DEL TRABAJO Y BALANCE ENERGÉTICO

Sistema	Invernadero	h MJ ⁻¹	h kg ⁻¹	Balace
Convencional	A	1h 29m	113	0,33
Convencional	B	1h 29m	114	0,55
Convencional	C	1h 29m	129	0,7
Alterno	A	0h 53m	19	2
Alterno	B	0h 45m	26	1,44
Alterno	C	0h 40m	16	1,92

viacampesina.org) menciona que en la cuarta parte de las tierras arables que maneja en América Central, la agricultura de pequeña escala produce el 87% de toda la yuca, el 70% del frijol, el 46% del maíz, el 34% del arroz, el 58% de la leche, el 50% de las aves de corral, el 59% de los porcinos, el 30% de los bovinos y el 38% del café, entre otros muchos productos alimenticios. En el presente trabajo se observó que el costo energético de la proteína producida en los invernaderos del sistema convencional es mayor con respecto al sistema alterno, información que coincide con lo planteado por Paneque *et al.* (2009), aunque ellos trabajaron a cielo abierto y mencionan que la siembra fue la labor que más encareció el costo.

La productividad energética del sistema ($\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}$), productividad energética del trabajo ($\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}$) y el balance energético se presentan en la Tabla III. La cantidad de horas de trabajo para producir 1,0MJ de energía en un sistema convencional de producción de hortalizas es mayor que por el método alterno, información que coincide con lo reportado por Altieri y Nicholls (2000), pues ellos mencionan que trabajando bajo condiciones de manejo intensivo, el tratamiento de las enfermedades y la nutrición de los cultivos incrementó los costos, a tal extremo que la cantidad de energía invertida sobrepasó la energía cosechada. La cantidad de horas de trabajo para producir 1,0kg de proteína en un sistema convencional es menos eficiente, respecto a la productividad proteica, en el sistema alterno. Guevara *et al.* (2015) evaluaron semilla criolla y semilla mejorada en un sistema de producción que combina la siembra de maíz-frijol, y obtuvieron 1,12Mcal por cada Mcal invertida; de igual forma mencionan que el sistema de producción maíz-frijol aportó proteína para alimentar a 23 personas/ha y año, con lo cual demuestran que la combinación

de cultivos es un determinante en la producción de proteína. El balance energético obtenido del sistema convencional es menos eficiente que el sistema de producción alterno y coincide con lo reportado por Pishgar *et al.* (2011) pues ellos, para el cultivo de papa, calcularon la eficiencia energética en 1,25 mientras que Khan *et al.* (2009) para el mismo cultivo reportaron una eficiencia energética de 0,98. Pishgar *et al.* (2011) mencionan que en tomate el balance energético fue de 1,0; en algodón de 0,06; y en remolacha azucarera de 1,53. Por su parte Canakci y Akinci (2006) mencionan que la energía específica para cultivos de campo y producción de hortalizas en Turquía tiene un balance de 5,24 para trigo; de 11,24 para algodón; de 3,88 para maíz; de 16,21 para sésamo; de 1,14 para tomate; de 0,98 para melón; y de 0,97 para sandía. En nuestro trabajo el balance energético es claramente superior en el sistema alterno.

Conclusiones

El sistema de producción alterno tiene una eficiencia energética promedio de 1,63MJ producidos por cada MJ de entrada. Por otro lado, el sistema convencional tiene una eficiencia promedio de 0,52MJ producidos por cada MJ de entrada. En cuanto a la productividad proteica, el cultivo alterno requirió 20h de trabajo humano por cada kilogramo de proteína, mientras que con el sistema convencional se requieren 118h. El sistema alterno demostró mejores eficiencias en ambos parámetros, 3,13 veces mejor para eficiencia energética y 5,9 veces mejor desempeño en productividad proteica.

El número de personas que se pueden alimentar por hectárea, con el sistema alterno son 16, y con el sistema convencional 1,7.

El rendimiento productivo es de 4,5t $\cdot\text{ha}^{-1}$ para el sistema

convencional y 4,8t $\cdot\text{ha}^{-1}$ para el sistema alterno.

La energía invertida al sistema tomando en cuenta herramientas, insumos y trabajo humano fue de 8,293MJ para el convencional y de 10,730MJ para el alterno.

REFERENCIAS

- Acosta LA, Rodríguez MS (2006) *En Busca de la Agricultura Familiar en América Latina*. RIMISP. Santiago, Chile. http://www.ceha.bellinux.net/IMG/pdf/En_busca_de_la_agricultura_familiar_en_LA.pdf (Cons. 15/01/2021).
- Altieri M, Nicholls CI (2000) *Teoría y Práctica para una Agricultura Sustentable*. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental. PNUMA. México. 229 pp.
- Canakci M, Akinci I (2006) Energy use pattern analysis of greenhouse vegetable production. *Energy* 31: 1243-1256. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2005.05.021>
- Denoia J, Montico S (2010) Balance de energía en cultivos hortícolas a campo en Rosario (Santa Fe, Argentina). *Ciencia, Docencia y Tecnología* 21(41): 145-157.
- Duch GJ (1998) Tipologías empíricas de productores agrícolas y tipos ideales en el estudio de la agricultura regional. *Rev. Geogr. Agric.* 27: 27-38.
- FAO (2003) *Perfiles nutricionales por países - México*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 45 pp.
- FAO (2013) *FAO Statistical Yearbook 2013. World Food and Agriculture*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 288 pp.
- Francis CA, Lieblein G, Gliessman SR, Breland TA, Creamer N, Harwood RR, Salomonsson L, Helenius J, Rickerl D, Salvador R, Wiedenhoeft M, Simmons S, Allen P, Altieri M, Flora C, Poincelot R (2003) Agroecology: The ecology of food systems. *J. Sustain. Agric.* 22(3): 99-118. https://doi.org/10.1300/j.064v22n03_10
- García E (1978) *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 2ª ed. UNAM. México. 96 pp.
- García GS (2012) *Centrales Termoeléctricas de Biomasa*. 2 vols. Renovetec. Madrid, España. 457 pp.
- Guevara HF, Rodríguez LAL, Hernández RMA, Fonseca FM, Pinto RR, Reyes ML (2015) Eficiencia energética y económica del cultivo de maíz en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera la Sepultura, Chiapas, México. *Rev. Mex. Cs. Agric.* 6: 1929-1941. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i8.530>
- Khan MA, Awan IU, Zafar J (2009) Energy requirement and economic analysis of rice production in western part of Pakistan. *Soil Environ.* 28: 60-67.
- Osorio SG (2008) Agricultura sustentable. Una alternativa de alto rendimiento. *Ciencia UANL* 11: 77-81.
- Paneque RP, Miranda CA, Suárez GM, Abraham FN (2009) Costos energéticos y de explotación del cultivo de arroz en fanguero directo. *Cs. Técn. Agropec.* 18(2): 7-11.
- Pishgar KSH, Sefeedpari P, Rafiee S (2011) Energy and economic analysis of rice production under different farm levels in Guilan province of Iran. *Energy* 36(10): 5824-5831. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.08.044>.
- Rostrán MJL, Bárcenas LM, Prado RJA (2016) *Manual de Producción Biointensiva con Principios Agroecológicos como Herramientas de Seguridad*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Leon, Nicaragua. 32 pp.
- Rozano LGV, Quiroz SC, Acosta PSC, Pimentel ALA, Quiñones REI (2004) Hortalizas, las llaves de la energía. *Rev. Digital Univ.* 5(7): 1-30. URI: <http://r.u.t.i.c.u.n.a.m.x/handle/123456789/963>
- Salgado SR (2015) Agricultura sustentable y sus probabilidades en relación con consumidores urbanos. *Estud. Soc.* 23(45): 113-140. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572015000100005
- Severe R, Vera OMB (2014) Caracterización de la agricultura familiar campesina, comuna de Cayes-Jacmel, Haití. *Idesia* 32(3): 65-74. <https://doi.org/10.4671/S0718-34292014000300009>
- www.viacampesina.org. La agricultura campesina sostenible puede alimentar al mundo. (Cons. 15/01/2021).