

14

BALANCE ENERGÉTICO
COMO INDICADOR DE SOSTENIBILIDAD EN SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

BALANCE ENERGÉTICO

COMO INDICADOR DE SOSTENIBILIDAD EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

ENERGY BALANCE AS AN INDICATOR OF SUSTAINABILITY IN AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEMS

Irán Rodríguez Delgado¹

E-mail: irodriguez@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6453-2108>

Leidy Casimiro Rodríguez²

E-mail: leidy7580@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0530-3786>

Hipólito Israel Pérez Iglesias¹

E-mail: hperez@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3368-8716>

Rigoberto Miguel García Batista¹

E-mail: rmgarcia@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2403-0135>

¹ Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

² Universidad de Sancti Spiritus "José Martí" Cuba.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Rodríguez Delgado, I., Casimiro Rodríguez, L., Pérez Iglesias, H. P., García Batista, R. M. (2020). Balance energético como indicador de sostenibilidad en sistemas de producción agrícola. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(3), 115-125

RESUMEN

Los sistemas de producción agrícolas enfrentan en la actualidad dificultades desde el punto de vista del balance energético, debido al incremento del consumo de combustibles fósiles y la disminución de la producción de cultivos. El objetivo del estudio de tipo descriptivo fue comparar la eficiencia energética de los sistemas de producción agroecológico y convencional mediante un balance de la energía consumida y producida en el cultivo del maíz; para lo cual se aplicaron encuestas con los decisores en cada sistema productivo, determinándose las frecuencias absolutas y relativas relacionadas con las actividades de trabajo humano y animal; y el empleo de semillas, maquinaria agrícola, fertilizantes y plaguicidas, además, de la eficiencia energética. En el sistema de producción agroecológico por cada kcal consumida en el proceso de producción de 1 ha de maíz se produjeron 6.3 kcal (balance positivo) y en el sistema convencional donde se emplean insumos químicos externos al predio productivo por cada kcal consumida se produjeron 0,75 kcal (balance negativo). El balance energético positivo influye en la sostenibilidad del sistema a mediano y largo plazo; y el cuidado del ambiente, no así en el sistema de producción convencional donde se presenta afectación al ambiente.

Palabras clave:

Gastos directos e indirectos, sistema agroecológico, sistema convencional, eficiencia energética.

ABSTRACT

Agricultural production systems are currently facing difficulties from the point of view of the energy balance, due to the increase in consumption of fossil fuels and the decrease in crop production. The objective of the descriptive study was to compare the energy efficiency of agro-ecological and conventional production systems by means of a balance of the energy consumed and produced in the cultivation of maize; to this end, surveys were applied to decision makers in each production system, determining the absolute and relative frequencies related to human and animal labour activities; and the use of seeds, agricultural machinery, fertilizers and pesticides, in addition to energy efficiency. In the agro-ecological production system, for each kcal consumed in the production process of 1 ha of corn, 6.3 kcal were produced (positive balance) and in the conventional system where chemical inputs external to the productive property are used, for each kcal consumed, 0.75 kcal were produced (negative balance). The positive energy balance influences the sustainability of the system in the medium and long term; and the care of the environment, not so in the conventional production system where the environment is affected.

Keywords:

Direct and indirect costs, agroecological system, conventional system, energy efficiency.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial y con el paso del tiempo, la agricultura ha presentado la influencia de diversas corrientes tecnológicas, fundamentalmente después de la Segunda Guerra Mundial con el desarrollo de la Revolución Verde y el auge del empleo de agroquímicos, el mejoramiento genético y la mecanización; que influyeron en el logro de altos rendimientos, aunque a un costo energético y ambiental elevado; además, según Rodríguez, et al. (2017), este tipo de agricultura, denominada convencional, concentró grandes extensiones de tierra en manos de pocos propietarios, especialmente empresas transnacionales, lo que implicó la transformación de la agricultura en una industria lucrativa a través del comercio de insumos químicos, maquinarias, variedades mejoradas genéticamente y paquetes tecnológicos; y aunque los efectos iniciales fueron positivos, pronto manifestó fragilidad, vulnerabilidad y riesgos para el ambiente, la salud humana y los agroecosistemas; factores que han influido en el cambio climático actual que amenaza la supervivencia de la especie humana.

Según Alemán & Brito (2003), en la agricultura moderna la energía juega un rol cada vez más importante en la producción de alimentos, debido a que la utilización de fuentes de energía renovables ha disminuido, sustituyéndose por fuentes de energía no renovables, las cuales son derivados del petróleo fundamentalmente.

Los sistemas alimentarios modernos enfrentan hoy grandes problemas desde el punto de vista energético, primero el aumento de la dependencia de combustibles fósiles y segundo la disminución de la eficiencia energética de la producción de cultivos (Pimentel, Berardi & Fast, 1983).

La eficiencia global en el uso de la energía (eficiencia energética) disminuye a medida que se incrementa la dependencia de combustibles fósiles. Así, en una agricultura completamente industrializada, la ganancia neta de energía proveniente de ella es pequeña debido a que se ha gastado tanta en su producción.

Debido al uso de insumos agrícolas de alto contenido energético (agroquímicos) ha disminuido la eficiencia energética de la producción, el consumo de energía ha aumentado 10 veces en relación con un sistema tradicional de producción. El análisis histórico de la producción de maíz en los Estados Unidos es ilustrativo al respecto, de 1945 a 1970, la energía empleada en este cultivo aumentó proporcionalmente con el incremento de los rendimientos, sin embargo, de 1970 en adelante se observa que los incrementos de la demanda de energía no se traducen en ganancias similares en los rendimientos anteriores, esto significa que la producción agrícola se sostiene como consecuencia de un incremento en los insumos energéticos.

En la mayoría de los ecosistemas naturales la energía solar es la única fuente principal de energía, también son

significativos el trabajo humano y animal, los insumos de energía mecanizada (como arar con un tractor), y el contenido energético de los productos químicos introducidos (abonos, fertilizantes y pesticidas). La energía humana da forma a la estructura del agroecosistema, y moldea el flujo energético mediante decisiones sobre la producción primaria y la proporción de esa producción que se canaliza hacia productos de uso humano. Este investigador plantea además que los distintos insumos de un sistema agrícola, entre los que se encuentran la radiación solar, el trabajo humano, el trabajo mecánico, los fertilizantes y herbicidas, pueden convertirse en valores energéticos. De igual modo, las producciones del sistema- los diversos productos vegetales y animales- también pueden ser expresados en términos de energía.

Según Ortiz & García (2018), en Cuba se hace necesario evaluar la eficiencia energética y el efecto medioambiental por unidad de producción, lo que permite obtener criterios para la obtención de producciones más limpias y sostenibles.

El objetivo del trabajo fue comparar la eficiencia energética de los sistemas de producción agroecológico y convencional mediante un balance de la energía consumida y producida en el cultivo del maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en la Finca del Medio perteneciente a la CCS Rolando Reina Ramos del municipio Taguasco, provincia de Sancti Spíritus, ubicada en autopista nacional km 349 (banda norte) Siguaney, la cual comenzó a explotarse como sistema agrícola en 1942; y se destinó fundamentalmente a la producción del cultivo del tabaco (*Nicotina tabacum* L.) y al autoabastecimiento familiar, utilizando prácticas tradicionales hasta 1975, año en el cual comienzan a establecer técnicas convencionales basadas en el empleo de insumos químicos externos al sistema. A partir de 1992 la finca es dividida en dos, una parte que mantiene hasta la actualidad el mismo tipo de sistema de explotación y la otra que aplica; a partir de 1996, un conjunto de prácticas agroecológicas como única vía para recuperar un agroecosistema afectado de forma significativa por la degradación de los suelos, la improductividad e ineficiencia de forma general.

El suelo predominante en ambos sistemas productivos pertenece al agrupamiento Sialitizado, conocido internacionalmente como Inseptisol, es poco profundo (0-39 cm de profundidad), clase textural franco arcillosa, moderadamente bien drenado; con pocas piedras, erosión de leve a moderada y pendiente entre ligeramente ondulada a ondulada.

Para conocer las actividades desarrolladas en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), utilizado para realizar el balance energético, se efectuaron entrevistas con los productores que se encuentran como decisores en los sistemas de producción agroecológico y convencional, que permitió

adquirir la información sobre los gastos energéticos en que se incurren para la producción de maíz seco y obtener los gastos energéticos, además se determinó para cada sistema la producción y el rendimiento agrícola del cultivo en grano seco.

Se revisó la Guía Técnica para la Producción del cultivo del maíz emitida por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el Ministerio de la Agricultura (MINAG) y el Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova.

Se determinaron los principales indicadores necesarios para establecer un balance energético de la producción del maíz en cada sistema de producción y se realizaron los cálculos correspondientes, según metodologías para Combustibles: Alonso & Rodríguez (1985); Indirecta (Pimentel, 1980) y trabajo humano y animal (Masera, Ordoñez & Dirzo, 1989) (Tabla 1).

Tabla 1. Gasto energético empleado para producir los insumos agrícolas (kcal/unidad).

Directos			Indirectos		
Insumo	Unidad	Kcal/unidad	Insumo	Unidad	Kcal/unidad
Diésel	litro	9243	Fertilizante (N)	kg	13500
Gasolina	litro	8150	Fertilizante (P)	kg	1975
Trabajo humano	hora	250-544	Fertilizante (K)	kg	1700
Trabajo animal	hora	1400-2200	Fertilizante orgánico	kg	70
Electricidad	kw/h	860	Herbicida	kg	57000
			Insecticida*	kg	44000
			Maquinaria	kg	21000

*No se considera la energía total utilizada en el proceso de obtención de los fertilizantes e insecticidas por su compleja forma de producción.

En relación con el trabajo humano y animal el valor de gasto energético fluctúa entre 250 y 544 kcal/hora y entre 1400 a 2200 kcal/h, respectivamente, en ambos casos, en dependencia de la intensidad de la labor. Para determinar la energía consumida por la maquinaria agrícola se multiplicó el combustible diésel consumido por actividad por el índice de gasto energético de este insumo que es de 9243 kcal/litro. Para determinar la energía consumida por los fertilizantes y productos plaguicidas se multiplicaron los kilogramos de producto gastados por el índice de gasto energético que tienen determinado. La equivalencia energética para el cultivo del maíz se obtuvo de Pimentel (1980), y los cálculos se efectuaron tomando en consideración un aporte energético de 4000 kcal/kg de producto obtenido (Tabla 2).

Tabla 2. Equivalencias energéticas de productos o cultivos agrícolas.

Producto agrícola	Nombre científico	kcal/kg
Maíz	<i>Zea mays</i> L.	3500-4500
Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	3500
Arroz	<i>Oryza sativa</i> L.	3550
Caña de azúcar	<i>Saccharum officinarum</i> L.	2663
Yuca	<i>Monihot esculenta</i> Krantz	3320
Plátano	<i>Musa</i> ssp.	860
Tomate	<i>Lycopersicum esculentun</i> Will	200
Girasol	<i>Helianthus annuus</i> L.	3035
Papa	<i>Solanum tuberosum</i> L.	610
Cebolla	<i>Allium cepa</i> L.	350
Ajo	<i>Allium sativum</i> L.	1380

Fuente: Pimentel (1980).

Para la descripción de las variables estudiadas se efectuaron los cálculos de las frecuencias absolutas y relativas. Para la representación de los resultados obtenidos en cada sistema de producción estudiado en función de los gastos de

energía incurridos en cada actividad desarrollada en el cultivo del maíz se construyeron gráficos de barras agrupados. El procesamiento estadístico de los datos se realizó con el paquete estadístico SPSS versión 22 de prueba para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la caracterización de los agroecosistemas estudiados se obtuvo como resultado que el sistema agroecológico (superficie física de 12.0 ha) se establece a partir de la integración de árboles (forestales y frutales), a los cultivos de ciclo corto, así como a la crianza de varias especies de animales y la familia funciona como catalizador de todas las actividades que se desarrollan en este sistema productivo. El sistema de producción convencional (superficie física de 11.0 ha) se identifica con el empleo de insumos químicos, maquinaria y fuerza de trabajo externa para efectuar el proceso de producción. En el uso del suelo existen diferencias debido a la mayor diversificación de la producción que se presenta en el sistema agroecológico al compararlo con el convencional (Tabla 3).

Tabla 3. Superficie total y uso del suelo en los sistemas agroecológico y convencional en hectáreas (ha).

Concepto	Agroecológico	Convencional
Área geográfica total	12.00	11.00
Desglosadas en:		
Cultivos varios en rotación	8.00	10.8
Pastos	1.00	0.1
Frutales y forestales	1.00	-
Infraestructura e instalaciones	1.25	0.1
Embalse de agua	0.75	-

En relación con la infraestructura creada en los agroecosistemas es importante señalar que en el sistema agroecológico se han creado condiciones idóneas para la permanencia de la familia de forma permanente en la finca, lo que difiere del sistema convencional donde estos no permanecen a tiempo completo en el predio de producción y utilizan fuerza de trabajo externa para las labores fundamentales; para el sistema agroecológico esta situación determina un aprovechamiento más eficiente de la jornada de trabajo, además de ser los guardianes de sus propios bienes y recursos (Tabla 4).

Tabla 4. Infraestructura creada en los sistemas agroecológico y convencional.

Infraestructura	Agroecológico	Convencional
Casa familiar	2	0
Almacén	1	1
Baño seco	1	0

Casa de tabaco	1	1
Vaquería	1	0
Huerto	1	0
Jaulas y corrales	22	0

Para efectuar la producción cada sistema dispone de recursos, los cuales difieren de forma particular ya que en el agroecológico se dispone de lo necesario para producir y no dependen de insumos externos para obtener los alimentos, además el proceso productivo se realiza a partir del principio de proteger el ambiente (Tabla 5).

Tabla 5. Recursos disponibles en los sistemas agroecológico y convencional.

Recurso disponible	Agroecológico	Convencional
Yunta de bueyes	2	1
Carretón de bueyes	1	0
Caballo	1	1
Quitrín	1	1
Tractor Yung-6M	0	1
Arado Adi-3	0	1
Grada ligera (3000 libras)	0	1
Multi-implemento de tracción animal JC21A.	2	0
Rastrillo para buey	1	1
Molino de viento	2	0
Pozo profundo	3	1
Arietes hidráulicos	2	0
Sistema de riego	Soterrado por gravedad	Por aspersión y turbina 50-80
Bomba vaquera	1	0
Depósitos de agua	2	0
Lombricultura	2 canteros	0
Embalse de agua	1 (50.000 m3 de capacidad)	0

Balance energético realizado para los sistemas de producción agroecológico y convencional

Se determinó la EE para los sistemas de producción convencional y agroecológico a través de la suma de toda la energía que se consumen con el empleo de fertilizantes, combustibles, la cantidad de horas de trabajo manual, con tractores y con la tracción animal que fueron necesarias para poner a producir 1 ha de maíz seco. En la Tabla 6 se presenta el gasto energético (kcal) (obtenido de multiplicar las horas consumidas por el índice gasto energético) por cada actividad realizada en trabajo humano en los sistemas de producción agroecológico y convencional.

Tabla 6. Balance energético realizado para los sistemas de producción agroecológico y convencional en relación con el trabajo humano.

Sistema de producción	Actividades en trabajo humano	Horas	Índice de gasto energético (kcal/h de trabajo)	Gasto energético total (kcal)
Agroecológico	Operación con yunta de bueyes	192	450	86.400
	Siembra manual	16	400	6.400
	Cosecha manual	128	544	69.632
	Traslado del producto			
	Total	336		162.432
Convencional	Operación de la maquinaria	16	250	4.000
	Riego de agua	30	544	16.320
	Siembra manual	14	400	5.600
	Aplicación de fertilizantes	14	544	7.616
	Operación con bueyes	16	450	7.200
	Cosecha semimecanizada	16	544	8.704
	Trilla	4	400	1.600
	Traslado del producto	1	400	400
	Total	127		57.840

En la Tabla 7 se presenta el gasto energético (kcal) por cada actividad realizada en trabajo animal en los sistemas de producción agroecológico y convencional.

Tabla 7. Balance energético realizado para los sistemas de producción agroecológico y convencional en relación con el trabajo animal.

Sistema de producción	Actividades en trabajo animal	Horas	Índice de gasto energético (kcal/h de trabajo)	Gasto energético total (kcal)
Agroecológico	Rotura con JC21A	64	1.800	115.200
	Cruce con JC21A	32	1.600	51.200
	1er pase de grada	16	1.600	51.200
	2do pase de grada	16	1.600	51.200
	Surcar con arado de vertedera	16	1.700	27.200
	1er Cultivo con JC21A	8	1.400	11.200
	2do Cultivo con JC21A	8	1.400	11.200
	Cosecha con carretón	64	2.200	140.800
	Traslado del producto			
	Total	224		459.200
Convencional	1er aporque con arado de vertedera	18	2.200	39.600
	2do aporque con arado de vertedera	18	2.200	39.200
	Total	36		79.200

Se determinó la EE para los sistemas de producción convencional y agroecológico a través de la suma de toda la energía que se consumen con las labores realizadas por la maquinaria agrícola necesarias para poner a producir 1 ha de maíz seco (Tabla 8).

Tabla 8. Balance energético para los sistemas de producción agroecológico y convencional en relación con las labores realizadas por la maquinaria agrícola.

Sistema de producción	Labores realizadas por la maquinaria agrícola	Diésel consumido en litros	Índice de gasto energético (kcal/h de trabajo)	Gasto energético total (kcal)
Agroecológico	Trilla del producto	10	9.243	92.430
	Total	10		92.430
Convencional	Rotura con tractor y Adi-3	50	9.243	462.150
	Cruce con tractor y Adi-3	30	9.243	277.290
	1 Grada con tractor y grada ligera	40	9.243	369.720
	1er Riego de agua para siembra	130	9.243	1.201.590
	Surcar con tractor y surcador doble	50	9.243	462.150
	2do riego de agua para uniformar la germinación	45	9.243	415.935
	3er riego de agua	65	9.243	600.795
	4to riego de agua	65	9.243	600.795
	Cosecha	10	9.243	92.430
	Trilla	4	9.243	36.972
	Acarreo	1	9.243	9.243
	Total	490		4.529.070

Se determinó la EE para los sistemas de producción convencional y agroecológico a través de la suma de toda la energía que se consumen con el empleo de fertilizantes y plaguicidas necesarias para poner a producir 1 ha de maíz seco (Tabla 9).

Tabla 9. Balance energético realizado para los sistemas de producción agroecológico y convencional en relación con los fertilizantes y productos plaguicidas empleados.

Sistema de producción	Fertilizantes y productos plaguicidas empleados	Consumo (kg)	Índice de gasto energético (kcal/h de trabajo)	Gasto energético total (kcal)
Agroecológico	Humus de lombriz	2.258	70	158.060
	Subtotal fertilizantes	2.258		158.060
	Subtotal plaguicidas	0		0
	Total	2.258		158.060
Convencional	Nitrógeno	150	13.500	2.025.000
	Fósforo	50	1.975	98.750
	Potasio	75	1.700	127.500
	Subtotal fertilizantes	275		2.251.250
	M-parathion	10	44.000	440.000
	Subtotal plaguicidas	10		440.000
	Total	285		2.691.250

Resumen de gastos energéticos

Se sumó el consumo total de energía por cada factor considerado y se obtuvo el gasto energético total en que se incurre para producir 1 ha de maíz, en cada sistema de producción estudiado (Tabla 10).

Tabla 10. Gasto energético total por cada factor considerado en el estudio desarrollado en 1 ha de maíz para los sistemas de producción agroecológico y convencional.

Sistema de producción	Factor considerado	U/M	Consumo total	Gasto energético (kcal)
Agroecológico	Trabajo humano	h/totales	336	162.432
	Trabajo animal	h/totales	224	459.200
	Maquinaria agrícola	litros	10	92.430
	Fertilizantes empleados	kg	2258	158.060
	Semilla	kg	20	80.000
	Total general			952.122
Convencional	Trabajo humano	h/totales	127	57.840
	Trabajo animal	h/totales	36	79.200
	Maquinaria agrícola	litros	490	4.529.070
	Fertilizantes empleados	kg	275	2.251.250
	Productos plaguicidas	kg	10	440.000
	Semilla	kg	20	80.000
	Total general			7.437.360

Comparación de resultados

Existen diferencias en el gasto en horas que se produce en cada sistema. El trabajo humano y animal en el sistema convencional presenta un menor consumo; 127 por 336 y 36 por 224 en el sistema agroecológico respectivamente; esto explica el bajo empleo que realiza este sistema en relación a las actividades manuales y animales; y la dependencia de insumos externos (Figura 1).

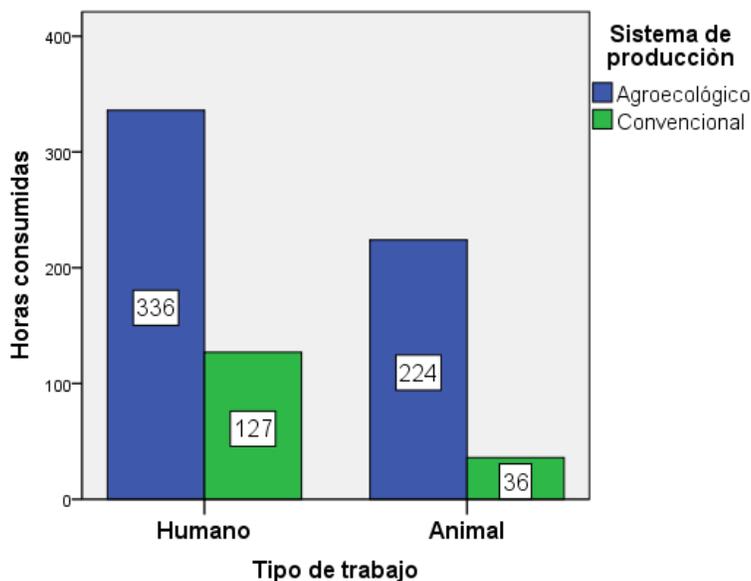


Figura 1. Horas consumidas en trabajo humano y animal en los sistemas de producción convencional y agroecológico.

En relación con el gasto de combustible por actividades al comparar ambos sistemas se observa diferencias, las que se deben a que en el sistema convencional se realiza un uso excesivo de maquinaria agrícola, que determina el alto consumo de combustibles y se emplean productos químicos (Figura 2).

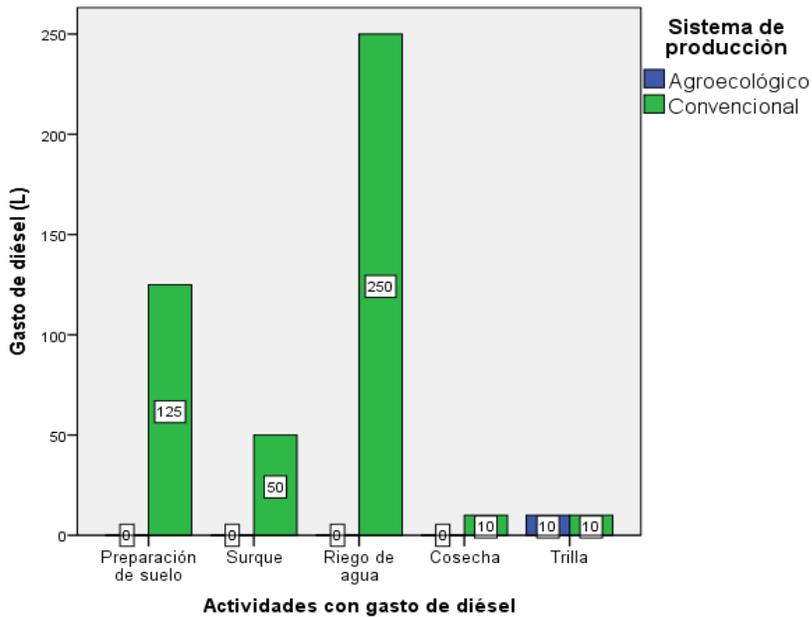


Figura 2. Gasto de diésel en actividades desarrolladas en los sistemas de producción convencional y agroecológico.

Al analizar el gasto energético (%) en semillas, fertilizantes y plaguicidas para cada sistema de producción se observa como en el sistema agroecológico se utiliza fertilizante orgánico que no causa daño al ambiente y se produce en el propio predio de producción (incremento del trabajo humano) y no se emplean plaguicidas. En el sistema convencional se emplean productos químicos, tanto en la fertilización como en el control de plagas, lo cual influye en el incremento del gasto energético (Figura 3).

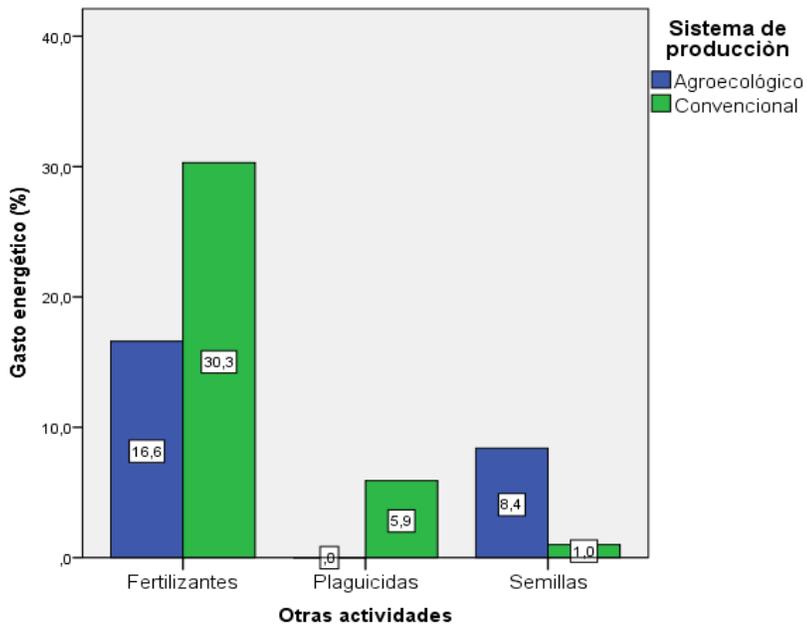


Figura 3. Porcentaje de gasto energético en las actividades de fertilización (para el sistema agroecológico es orgánica), aplicación de plaguicidas y gasto en semilla para producir 1 ha de maíz en los sistemas agroecológico y convencional.

En resumen, en el sistema agroecológico el 81.9% del gasto energético se concentra en el empleo del trabajo humano, trabajo animal y fertilizantes orgánicos, que se encuentra disponible en el sistema, lo que contribuye a la autonomía del proceso productivo y la sostenibilidad en el tiempo. En el sistema convencional se muestra que el 91.2% del gasto energético se concentra en el uso de la maquinaria agrícola y los fertilizantes químicos, elementos que conducen a una dependencia de estos insumos y una afectación al ambiente, que provoca daños a los suelos, el agua y las personas (Tabla 11).

Tabla 11. Resumen de gastos energéticos por actividades desarrolladas en los sistemas agroecológico y convencional.

Actividades	Gasto energético por sistemas			
	Agroecológico		Convencional	
	Kcal consumidas	%	Kcal consumidas	%
Trabajo humano	162.432	17.1	57.840	0.8
Trabajo animal	459.200	48.2	79.200	1.1
Maquinaria	92.430	9.7	4.529.070	60.9
Fertilizantes	158.060	16.6	2.251.250	30.3
Plaguicidas	-	-	440.000	5.9
Semilla	80.000	8.4	80.000	1.0
Total general	952.122	100	7.437.360	100

En el sistema agroecológico se presenta un 0,16 de índice de gasto energético por kcal producida lo que evidencia un máximo aprovechamiento de la energía consumida (se necesita 0.16 kcal para producir 1 kcal), fundamentalmente en el trabajo animal que presenta un índice de 0,08 kcal consumidas por kcal producida. Valores superiores se observan en el sistema convencional donde se obtuvo un índice de gasto energético de 1,33 kcal por cada kcal producida, concentradas en 0.80 y 0.40 kcal consumidas por kcal producida en la maquinaria y los fertilizantes respectivamente, lo que demuestra la necesidad de aplicar medidas eficaces para disminuir el consumo de energía, debido a que se gasta más energía de la que se produce (Tabla 12).

Tabla 12. Comparación del índice de gastos por kcal/ha para los sistemas agroecológico y convencional.

Actividades	Índice de gasto energético por kcal producida	
	Agroecológico	Convencional
Trabajo humano	0.03	0.01
Trabajo animal	0.08	0.02
Maquinaria	0.01	0.80
Fertilizantes	0.03	0.40
Plaguicidas	0.00	0.08
Semilla	0.01	0.02
Índice general	0.16	1.33

El rendimiento alcanzado en grano seco, para el sistema convencional fue de 1400 kg (1.4 t ha⁻¹) que significa una producción de energía de 5.600.000 kcal, esto determina una eficiencia energética de 0.75 kcal producidas/kcal consumida (7.437.360 kcal consumidas), o sea, un 75% de eficiencia, encontrándose por debajo de lo obtenido como media en México, donde esta ineficiencia se incrementa por el uso de insumos de alto contenido energético (México. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, 1989), la demanda de alimentos altamente

procesados (Pimentel, 1980) y el crecimiento del número de zonas agrícolas con alta especialización. Este resultado coincide con lo planteado por Alemán & Brito (2003), en relación a la ineficiencia energética de los sistemas convencionales de producción. Pimentel, et al. (1983), determinaron que el empleo de paquetes tecnológicos tipo revolución verde han incidido en la disminución considerable de la EE de los sistemas productivos.

El rendimiento obtenido en el sistema agroecológico fue de 1500 kg (1.5 t ha⁻¹) lo que representa una producción total de 6.000.000 de kcal y un índice de eficiencia energética de 6.3 kcal producidas/kcal consumidas (952.122 kcal consumidas), o sea, un 630% de eficiencia, resultados que se corroboran con los obtenidos por Casimiro, et al. (2019), al implementar en este propio sistema de producción agroecológico el Índice de Aprovechamiento de Fuentes Renovables de Energía (IAFRE) se obtuvo un 83,6% de autoabastecimiento de energía, superior al obtenido en otras 24 fincas representativas en Cuba, en las cuales se obtuvo en el 2016 un 20% en el mejor de los casos; y con lo obtenido por Valdés, et al. (2009), en un estudio sobre funcionamiento energético realizado en 20 fincas campesinas del municipio La Palma, Pinar del Río, Cuba, quienes al evaluar indicadores relacionados con la producción de energía, producción de proteínas, personas que puede alimentar la finca de acuerdo a los requerimientos energéticos y proteínas, así como la relación de unidades de energía insumidas/producidas, se obtuvo que el balance energético se encuentra afectado principalmente por los insumos externos que se adquieren para fomentar la producción animal.

CONCLUSIONES

En el sistema de producción agroecológico se obtuvo una eficiencia energética (630%) superior al sistema convencional (75%), lo que significa que con la aplicación de prácticas agroecológicas por cada kcal consumida en el proceso de producción de 1 ha de maíz se producen 6.3 kcal (balance positivo) y en el sistema donde se emplean insumos químicos externos al predio productivo por cada kcal consumida se produce 0,75 kcal (balance negativo). El balance energético positivo influye en la sostenibilidad del sistema a mediano y largo plazo; y el cuidado del ambiente, no así en el sistema de producción convencional donde se presenta degradación del suelo, contaminación de aguas y afectación al ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alemán, R., & Brito, J. C. (2003). Balance energético en dos sistemas de producción de maíz en las condiciones de Cuba. *Centro Agrícola*, 30(3), 84-87.
- Alonso, A., & Rodríguez, L. (1985). *Alternativas Energéticas*. Fondo de Cultura Económica, D. F.

- Casimiro, L., Casimiro, J. A., Suárez, J., Martín, G. J., & Rodríguez, I. (2019). Índice de aprovechamiento de fuentes renovables de energía, asociadas a tecnologías apropiadas en fincas familiares en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 42(4), 253-261.
- Masera, O. R., Ordoñez, M., & Dirzo, R. (1986). Carbon Emissions From Deforestation in México. University of California.
- México. Secretaría de Energía, Minas e Industria Par-aestatal. (1989). *Balances Nacionales Energéticos 1965-1990*. SEMIP.
- Ortiz, A. E., & García, O. (2018). Balance energético del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones protegidas en el periodo 2017-2018. *REDEL*, 2(4), 92-105.
- Pimentel, D. (1980). *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*, CRC Press.
- Pimentel, D. T., Berardi, G., & Fast, S. (1983). Energy Efficiency of Farming Systems: Organic and Conventional Agriculture. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 9(1), 359-372.
- Rodríguez, L., Rodríguez, S. L., Macías, O. L., Benavides, B., Amaya, O., Perdomo, R., Pardo, R., & Miyares, H. (2017). Evaluación de la producción de alimentos y energía en fincas agropecuarias de la provincia Matanzas, Cuba. *Pastos y Forrajes*, 40(3), 222-229.
- Valdés, N., Pérez, D., Márquez, M., Angarica, L., & Vargas, D. (2009). Funcionamiento y balance energético en agroecosistemas diversos. *Cultivos Tropicales*, 30(2), 36-42.