

Evaluación de la sostenibilidad energética en un agroecosistema lechero convencional**Evaluation of energy sustainability in a conventional dairy agroecosystem**

Jenifer Alvarez-Lima¹ <https://orcid.org/0000-0003-4456-269X>, Yanoy Morejón-Mesa² <https://orcid.org/0000-0002-1125-3105>, José Carlos Oliva-Suárez³ <https://orcid.org/0000-0003-1851-4045>, Pedro Pablo del Pozo-Rodríguez⁴ <https://orcid.org/0000-0002-7620-4910X>

¹Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana Autopista nacional km 23½, San José de las Lajas, CP 32700, Mayabeque, Cuba. ²Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de La Habana. Autopista Nacional km. 23½, San José de las Lajas, CP 32700, Mayabeque, Cuba. ³Escuela Ramal del Ministerio de la Agricultura. San José de las Lajas, CP 32700, Mayabeque, Cuba. ⁴Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). La Habana, Cuba. Correo electrónico: jenifer93@unah.edu.cu, yym@unah.edu.cu, josecarlosolivazuarez@gmail.com, pedro.delpozorodriguez@fao.org

Resumen

Objetivo: Evaluar la sostenibilidad energética de la producción lechera en un agroecosistema convencional.

Materiales y Métodos: Se diseñó el diagrama del sistema de acuerdo con los flujos energéticos implicados en las producciones de dos años consecutivos. Se determinó la energía invertida en la obtención de los materiales y servicios utilizados para producir la leche y se calcularon e interpretaron los índices de desempeño energético tradicionales y modificados: transformidad, renovabilidad, razón de rendimiento energético, razón de inversión energética, razón de carga ambiental e índice de sostenibilidad. Se determinaron los indicadores económicos: ingreso neto, costos totales, beneficio bruto y relación beneficio/costo.

Resultados: Los indicadores energéticos expresaron que bajo el modelo productivo actual el agroecosistema es insostenible (0,9) en el tiempo. Se registraron altos gastos energéticos (2,98 E+06 y 3,28 E+06 seJ/J), bajo soporte a partir de fuentes renovables (33,8 y 38,5 %), adecuado potencial para producir energía primaria (1,51 y 1,63), elevada dependencia de recursos externos (1,96 y 1,60) y bajo impacto ambiental (1,96 y 1,60). Sin embargo, el análisis económico clásico mostró la rentabilidad del sistema (2,12 y 1,80 CUP).

Conclusiones: Los indicadores energéticos expresaron la incapacidad del agroecosistema para sostenerse en el tiempo bajo un diseño convencional de la producción. El análisis económico clásico demostró la rentabilidad del agroecosistema, mientras que la evaluación de síntesis energética señaló que es insostenible.

Palabras clave: análisis económico, energía, producción lechera

Abstract

Objective: To evaluate the energy sustainability of milk production in a conventional agroecosystem.

Materials and Methods: The system diagram was designed according to the energy flows involved in the productions of two consecutive years. The energy invested in obtaining the materials and services used to produce milk was determined and the traditional and modified energy performance indexes were calculated and interpreted: transformity, renewability, energy yield ratio, energy investment ratio, environmental load ratio and sustainability index. Economic indicators were determined: net income, total costs, gross profit and profit/cost ratio.

Results: The energy indicators showed that under the current production model the agroecosystem is unsustainable (0,9) over time. High energy costs (2,98 E+06 and 3,28 E+06 seJ/J), low support from renewable sources (33,8 and 38,5 %), adequate potential to produce primary energy (1,51 and 1,63), high dependence on external resources (1,96 and 1,60) and low environmental impact (1,96 and 1,60) were recorded. However, the classical economic analysis showed profitability of the system (2,12 and 1,80 CUP).

Conclusions: The energy indicators expressed the inability of the agroecosystem to sustain itself over time under a conventional design of production. The classical economic analysis demonstrated the profitability of the agroecosystem; while the energy synthesis evaluation indicated that it is unsustainable.

Keywords: economic analysis, energy, milk production

Introducción

El sector lechero constituye un eslabón de importancia en el escenario agropecuario cubano, debido a la calidad nutricional de este alimento y su alta demanda. En el 2019 se alcanzó una producción nacional de 491 300 000 kg (ONEI, 2020).

Sin embargo, estos volúmenes no satisfacen los requerimientos de la población ni de la industria, por lo que el país se ve obligado a invertir millones de dólares anualmente en la importación de significativas cantidades de productos lácteos (ONEI, 2021),

Recibido: 18 de abril de 2022

Aceptado: 29 de enero de 2023

Como citar este artículo: Alvarez-Lima, Jenifer; Morejón-Mesa, Yanoy; Oliva-Suárez, José Carlos & Pozo-Rodríguez, Pedro Pablo del. Evaluación de la sostenibilidad energética en un agroecosistema lechero convencional. *Pastos y Forrajes*. 46:e07, 2023.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>. El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

aspecto que convierte la producción lechera en un asunto de seguridad nacional.

En Cuba predomina el manejo de estos sistemas desde una percepción productivista, que simplifica el funcionamiento ecosistémico e incrementa la dependencia de los recursos energéticos externos, lo que significa una amenaza para la sostenibilidad. En coherencia, representa la línea fundamental en la estrategia de desarrollo de la ganadería cubana, cuya recuperación y crecimiento son premisas para transformar el panorama agropecuario actual (Acosta *et al.*, 2017) en un modelo que asegure su producción, acceso y consumo durante todo el año (Carmenate *et al.*, 2019).

A partir de esta premisa, la síntesis energética se presenta como una metodología que permite integrar sistemas ecológicos y económicos en términos cuantitativos, con la utilización de la energía como lenguaje común (López-Bastida *et al.*, 2018). Esta metodología propicia la caracterización de las principales fuentes de energía externas al sistema, que dirigen su evolución; la estimación de la contribución de los servicios de los ecosistemas al sistema socioeconómico como capital natural; la apreciación del trabajo de la ecosfera en la dinámica global de los sistemas antrópicos y la realización de una contabilidad ambiental económico-ecológica integrada sobre bases termodinámicas, con el objetivo de contribuir a la toma de decisiones políticas y al cálculo de indicadores termodinámicos de rendimiento, impacto y sostenibilidad (Nielsen, 2019).

Esta metodología constituye un complemento para cubrir las complejas interrelaciones entre las finanzas y el ambiente en que operan los sistemas alimentarios (Giampietro *et al.*, 1994) y permite la evaluación de agroecosistemas, con un fuerte componente científico (termodinámica y ecológica) de las relaciones de interdependencia que se establecen entre los sistemas naturales y los sistemas socioeconómicos.

Como parte del programa de desarrollo en que se encuentra inmersa la granja científico-tecnológica y productiva El Guayabal, para transformar su panorama actual en un escenario sobre bases sostenibles, apremia el estudio de sus diferentes subsistemas desde una visión holística, que favorezca la toma de decisiones encaminadas a un funcionamiento armónico. El objetivo de este estudio fue evaluar la sostenibilidad de la producción lechera mediante la aplicación de la síntesis energética.

Materiales y Métodos

Localidad de estudio. La investigación se realizó en una unidad lechera perteneciente a la dirección científico-tecnológica y productiva El Guayabal, ubicada a los 23°00'12.5" latitud Norte y 82°09'57.9" longitud Oeste, en el municipio San José de Las Lajas, provincia Mayabeque, en Cuba. La unidad posee una superficie de 36 ha, con un suelo Ferralítico rojo típico en toda su extensión, relieve llano y 120 msnm de altura, de acuerdo con el sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés). Las variables climáticas registradas en los últimos cinco años mostraron temperaturas y precipitaciones promedio anuales de 24,3 °C y 129,9 mm, respectivamente. La humedad relativa varió entre 72,8 % (mínimo, en marzo) y 84,6 % (máximo, en diciembre), mientras que la velocidad del viento no superó los 5,46 km/h.

Recolección de los datos. La recolección de la información se realizó mediante el método de observación no participante (diagnóstico integral del funcionamiento del área objeto de estudio, análisis de los registros de datos históricos), entrevistas semiestructuradas a informantes clave y entrevistas al azar a productores/as, con el propósito de buscar la triangulación de la información. Previamente, se desarrolló un sondeo de las herramientas para valorar la factibilidad de las mismas.

Rebaño y áreas de pasturas. La existencia total de vacas fue de 49 y 57 cabezas en 2018 y 2019, respectivamente, con un promedio anual de 24 animales en ordeño en ambos periodos, cargas globales de 1,43 y 1,66 UGM/ha⁻¹ e intervalos parto-parto promedio de 468 y 519 días. La producción por vaca en ordeño fue de 5,00 y 4,28 kg/día, para un rendimiento anual de 1 216,82 y 1 042,48 kg/ha⁻¹ de leche (densidad: 1,0289 kg/L), que constituye el único producto agropecuario obtenido en la finca. Los grupos raciales estuvieron representados por 67,8 % de Siboney de Cuba, 28,81 % mestizos de Siboney y 3,39 % de otros cruzamientos lecheros. En las áreas de pasto, la mayor abundancia (51 %) entre las especies botánicas fue para el saca sebo (*Paspalum notatum* Flüggé). Para la producción forrajera se dedicaron 0,8 ha anuales sembradas de king grass CT-115 [*Cenchrus purpureus* (Schumach) Morrone]. Se aplica el pastoreo rotacional con 62 cuartones y dos ordeños diarios (mañana: 5:00 - 6:00 a.m.; tarde: 3:00 p.m.-4:00 p.m.).

Evaluación de síntesis energética. Se desarrolló en las cuatro etapas propuestas por Odum (1996):

Diagrama sistémico. Con la información obtenida en el levantamiento de datos se representaron los límites, componentes, entradas y salidas del sistema, así como los flujos de energía y materiales, y las interacciones entre los componentes. De este modo quedó expresada la complejidad del sistema durante los años 2018 y 2019, mediante los símbolos universales establecidos por Odum (1996). En las diferentes etapas de la metodología, se desglosó la energía total (Y); considerándose los recursos de la naturaleza (I), como renovables (R) y no renovables (N); y los recursos de la economía (F), como materiales (M) y servicios (S).

Tabla de síntesis energética. Los flujos representados en el diagrama sistémico se convirtieron en una línea de cálculo en la tabla de evaluación de la energía. Se calculó la energía solar de los bienes y servicios implicados en la producción, para lo que se consideró la cuantía con que entró cada flujo al sistema, su transformidad, fracción renovable y factor de conversión. De esta forma, se ponderaron las distintas calidades energéticas y se expresaron en julios solares (seJ).

Índices energéticos. Se calcularon e interpretaron los índices de desempeño energético tradicionales y modificados: transformidad, renovabilidad, razón de rendimiento energético, razón de inversión energética, razón de carga ambiental e índice de sostenibilidad (tabla 1). El procesamiento de los índices se realizó mediante el sistema informático EmTable (Ortega, 2005).

Análisis económico. El comportamiento financiero de la vaquería se evaluó a partir de los indicadores propuestos por Funes-Monzote (2009): ingreso neto de la producción, beneficio bruto y relación beneficio/costo (tabla 2). En el cálculo de los costos totales de producción se consideraron los costos fijos y variables: las materias primas y materiales (alimento, materiales de la construcción, medicamentos y materiales afines, los materiales y artículos de consumo, útiles y herramientas, partes y piezas de repuesto), combustibles (diésel, lubricantes y aceites), energía, salarios, depreciación de activos fijos y servicios profesionales.

Resultados y Discusión

En la figura 1 se muestran los principales flujos energéticos implicados en la producción lechera de la unidad durante los años del estudio. Las energías provenientes del sol, las precipitaciones y el viento dirigen básicamente el resto de los flujos del sistema, ya que comprenden las entradas desde fuentes renovables de la naturaleza. Las importaciones de mayor representatividad provinieron de los recursos de la economía (materiales y servicios) e involucraron electricidad, combustibles, depreciación de equipamientos, alimento animal, artículos de consumo, medicamentos, prestaciones de servicios técnico-profesionales y materiales de la infraestructura.

Se identificaron como componentes internos al sistema, los factores de la biocenosis como del biotopo, que se mantuvieron en los límites: pastos y forrajes, árboles, ganado bovino, mano de obra y

Tabla 1. Índices energéticos evaluados.

Índices energéticos	Expresión	Concepto
Transformidad solar	$Tr=Y/EP$	Energía total / energía del recurso
Renovabilidad	$\%R=100(R/Y)$	Entradas renovables / energía total
R modificada, %	$\%R^*=100((R+Mr+Sr)/Y)$	
Razón de rendimiento energético	$EYR=Y/F$	Energía total / recursos de la economía
EYR modificada	$EYR^*=Y/Fn$	
Razón de inversión energética	$EIR=F/I$	Recursos de la economía / recursos de la naturaleza
EIR modificada	$EIR^*=Fn/(I+Fr)$	
Razón de carga ambiental	$ELR=(N+F)/R$	(Recursos no renovables + recursos de la economía) / recursos renovables
ELR modificada	$ELR^*=(N+Mn+Sn)/(R+Mr+Sr)$	
Índice de sostenibilidad energética	$ESI=EYR/ELR$	(Energía total / recursos de la economía) / [(recursos no renovables + recursos de la economía) / recursos renovables]
ESI modificado	$ESI^*=EYR^*/ELR^*$	

Índices modificados. Subíndices: r- renovable; n- no renovable.

Tabla 2. Indicadores económicos (Miles de CUP/ha/año).

Indicador	Expresión
Ingreso neto de la producción	Ingresos por concepto de leche
Beneficio bruto	Ingreso neto de la producción – costos totales de producción (costos fijos + costos variables)
Relación beneficio/costo	Ingreso neto de la producción / costos totales de producción (costos fijos + costos variables)

CUP: peso cubano

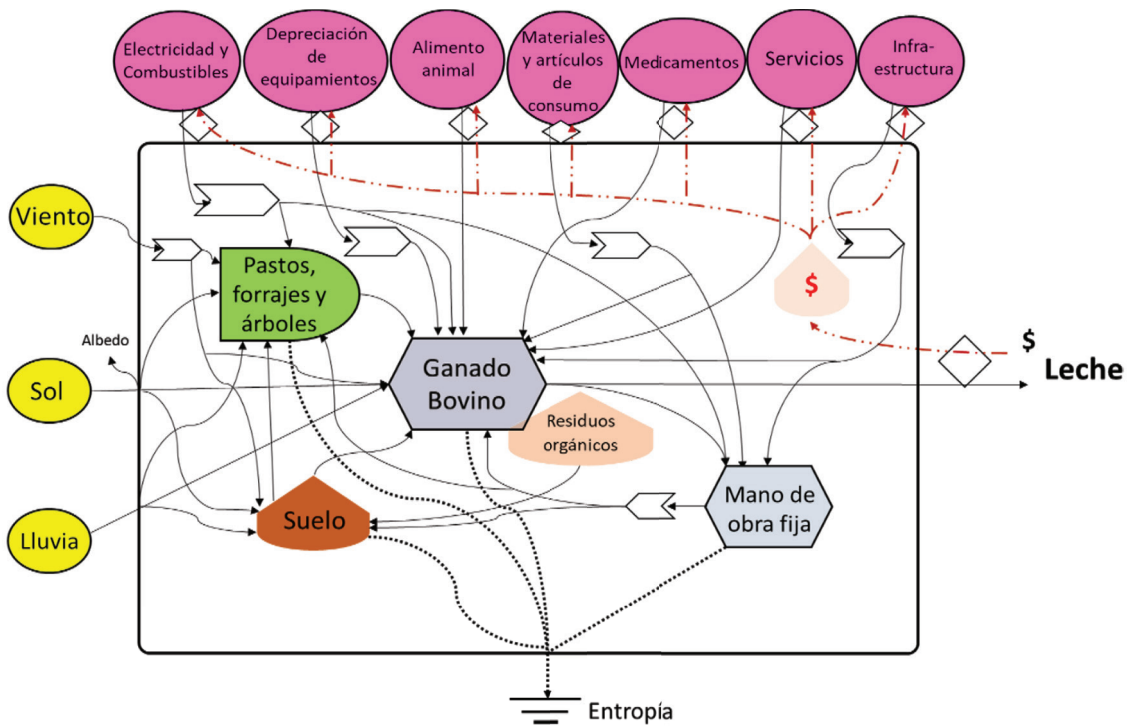


Fig. 1. Diagrama simplificado del flujo de energía en la unidad lechera.

suelo. En el diagrama se puede observar una escasa complejidad trófica, así como la incorporación al suelo de los residuos orgánicos obtenidos de las deyecciones. El único producto de interés comercial y alimentario que se genera en la unidad es la leche. Esta constituye la única fuente de ingreso económico, a partir de la cual se deben garantizar los materiales y servicios provenientes de la economía.

Las entradas correspondientes al año 1 se presentan en la tabla 3, donde los recursos renovables de la naturaleza representaron apenas 3,1 % de la energía total. Los materiales de la economía ocuparon 42,1 % de las inversiones en términos energéticos y se destacó la utilización de alimento animal (15,9 %) y la electricidad (9,8 %). Los servicios de

la economía significaron la mayor entrada al sistema (54,8 %), debido a la elevada proporción de energía utilizada por concepto monetario en mano de obra fija y servicios profesionales contratados. La energía invertida en infraestructura fue ínfima, y no alcanzó valor porcentual.

Durante este año se emplearon 3 066,38 E+12 seJ/ha/año de energía renovable, lo que representó 33,8 % de la energía total utilizada. Las actividades relacionadas con los servicios fueron las que aportaron la mayor cantidad de energía renovable (2 213,54 E+12 seJ/ha/año).

En la tabla 4 se muestra el análisis energético correspondiente al año 2. Los recursos renovables provenientes de fuentes naturales representaron 3,2 %

Tabla 3. Síntesis energética de la unidad. Año 1.

Indicador	Contribuciones	Fracción renovable	Flujo	Unidad	Factor	Transformidad se/unidad	Energía renovable E+I2 seJ/ha/año	Energía no renovable E+I2 seJ/ha/año	Energía total E+I2 seJ/ha/año	%
Recursos renovables de la naturaleza (R)										
R1	Sol	1,00	1460,00	kWh/m ² /año	3,60E+10	1,00 (a)	280,684	0,000	280,684	3,10
R2	Viento	1,00	1,17	m/s	1,47E+10	2,45E+03 (b)	52,560	0,000	52,560	0,58
R3	Lluvia	1,00	0,12	m ³ /m ² /año	5,00E+10	3,10E+04 (b)	42,124	0,000	42,124	0,46
Materiales de la Economía (M)										
M1	Materiales y artículos de consumo	0,80	115,01	\$/ha/año	1,00	5,40E+12 (c)	186,000	3244,57	3816,72	42,09
M2	Medicamentos y materiales afines	0,00	45,89	\$/ha/año	1,00	5,40E+12 (c)	0,000	247,806	247,806	2,73
M3	Sal	0,05	1,80	kg/ha/año	1,00	2,00E+12 (c)	0,180	3,420	3,600	0,04
M4	Miel, urea, bagacillo	0,00	69,44	kg/ha/año	1,00	2,08E+12 (c)	0,000	144,435	144,435	1,59
M5	Calcio	0,05	4,44	kg/ha/año	1,00	1,68E+09 (d)	0,000	0,007	0,007	0,00
M6	Fosfato	0,05	4,88	kg/ha/año	1,00	3,70E+10 (d)	0,009	0,172	0,181	0,00
M7	Materia prima, maíz	0,17	78,23	kg/ha/año	1,00	2,08E+09 (b)	0,000	0,163	0,163	0,00
M8	Materia prima, soya	0,17	63,12	kg/ha/año	1,00	3,26E+09 (b)	0,000	0,206	0,206	0,00
M9	Subproducto	0,00	139,96	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	456,270	456,270	5,03
M10	Núcleo mineral	0,00	0,21	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	0,685	0,685	0,01
M11	Núcleo vitamínico	0,00	0,1	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	0,326	0,326	0,00
M12	Salvado de trigo	0,00	14,86	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	48,444	48,444	0,53
M13	Harina de pescado	0,00	10,95	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	35,697	35,697	0,39
M14	Pienso vaca lechera	0,00	93,07	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	303,408	303,408	3,35
M15	Pienso concentrado cerdo, inicio	0,00	6,25	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	20,375	20,375	0,22
M16	Pienso concentrado cerdo, mantenimiento	0,00	0,96	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	3,130	3,130	0,03
M17	Pienso ponedoras, línea ligera	0,00	84,13	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	274,264	274,264	3,02

Tabla 3. Continuación.

Indicador	Contribuciones	Fracción renovable	Flujo	Unidad	Factor	Transformidad seJ/umid	Energía renovable E+I2 seJ/ha/año	Energía no renovable E+I2 seJ/ha/año	Energía total E+I2 seJ/ha/año	%
M18	Pienso pollo inicio, línea pesada	0,00	0,61	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	1,989	1,989	0,02
M19	Pienso pollo crecimiento, línea pesada	0,00	1,94	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	6,324	6,324	0,07
M20	Pienso pollo engorde, finalizar ceba	0,00	41,59	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	135,583	135,583	1,50
M21	Bloque multinutricional	0,00	2,78	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	9,063	9,063	0,10
M22	Premezcla múltiple vaca	0,00	0,41	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	1,337	1,337	0,01
M23	Electricidad	0,05	913,33	kWh/ha/año	3,60E+06	2,69E+05 (b)	44,223	840,245	884,469	9,75
M24	Lubricantes	0,01	0,59	kg/ha/año	1,00	9,21E+04 (b)	0,000	0,000	0,000	0,00
M25	Diésel	0,01	28,18	L/ha/año	1,00	9,21E+04 (b)	0,000	0,000	0,000	0,00
M26	Depreciación de equipamientos	0,05	167	\$/ha/año	1,00	3,70E+12 (b)	30,895	587,005	617,900	6,81
Servicios de la economía (S)										
S1	Mano de obra fija	0,60	631,28	\$/ha/año	1,00	3,30E+12 (b)	1249,934	833,290	2083,224	22,97
S2	Servicios profesionales	0,60	486,67	\$/ha/año	1,00	3,30E+12 (b)	963,607	642,404	1606,011	17,71
S3	Trabajo humano	0,00	4,55E+08	J/ha/año	1,00	1,20E+06 (a)	0,000	546,000	546,000	6,02
S4	Trabajo animal	0,00	6,12E+08	J/ha/año	1,00	1,20E+06 (a)	0,000	734,400	734,400	8,10
Infraestructura (Inf)										
IF1	Útiles y herramientas	0,00	4,5	\$/ha/año	1,00	5,40E+12 (c)	0,000	0,413	0,413	0,00
IF2	Partes y piezas de repuesto	0,00	0,19	\$/ha/año	1,00	5,40E+12 (c)	0,000	0,017	0,017	0,00
Total (Y)							3066,38	6001,09	9067,47	

a) Odum (1996), b) Agostinho *et al.* (2019), c) Bassan *et al.* (2015), d) Cavaletti *et al.* (2006)

Tabla 4. Síntesis energética de la unidad. Año 2.

Indicador	Contribuciones	Fracción renovable	Flujo	Unidad	Factor	Transformidad, seJ/unid	Energía renovable, E+I2 seJ/ha/año	Energía no renovable, E+I2 seJ/ha/año	Energía, total, E+I2 seJ/ha/año	%
Recursos Renovables de la naturaleza (R)										
R1	Sol	1,00	1460,00	kWh/m ² /año	3,60E+10	1,00 (a)	52,560	0,000	52,560	0,62
R2	Viento	1,00	0,99	m/s	1,47E+10	2,45E+03 (b)	35,643	0,000	35,643	0,42
R3	Lluvia	1,00	0,12	m ³ /m ² /año	5,00E+10	3,10E+04 (b)	186,000	0,000	186,000	2,18
Materiales de la economía (M)							637,57	2391,15	3028,72	35,45
M1	Materiales y artículos de consumo	0,80	132,10	kg/ha/año	1,00	5,40E+12 (c)	570,672	142,668	713,340	8,35
M2	Medicamentos y materiales afines	0,00	94,87	\$/ha/año	1,00	5,40E+12 (c)	0,000	512,298	512,298	6,00
M3	Sal	0,05	0,64	kg/ha/año	1,00	2,00E+12 (c)	0,064	1,216	1,280	0,01
M4	Miel, urea, bagacillo	0,00	128,23	kg/ha/año	1,00	2,08E+12 (c)	0,000	266,718	266,718	3,12
M5	Calcio	0,05	3,43	kg/ha/año	1,00	1,68E+09 (d)	0,000	0,005	0,006	0,00
M6	Fosfato	0,05	4,43	kg/ha/año	1,00	3,70E+10 (d)	0,008	0,156	0,164	0,00
M7	Materia prima, soya	0,00	32,71	kg/ha/año	1,00	3,26E+09 (b)	0,000	0,107	0,107	0,00
M8	Subproducto	0,00	49,25	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	160,555	160,555	1,88
M9	Pienseo concentrado cerdo mantenimiento	0,00	3,39	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	11,051	11,051	0,13
M10	Pienseo ponedoras línea ligera	0,00	3,00	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	9,780	9,780	0,11
M11	Premezcla múltiple vaca	0,00	0,18	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	0,587	0,587	0,01
M12	Pienseo ternero inicio	0,00	4,84	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	15,778	15,778	0,18
M13	Nuprovim-10	0,00	0,17	kg/ha/año	1,00	3,26E+12 (c)	0,000	0,554	0,554	0,01
M14	Electricidad	0,05	913,33	kWh/ha/año	3,60E+06	2,69E+05 (b)	44,223	840,245	884,469	10,35
M15	Lubricantes	0,01	0,32	kg/ha/año	1,00	9,21E+04 (b)	0,000	0,000	0,000	0,00
M16	Diésel	0,01	10,65	L/ha/año	1,00	9,21E+04 (b)	0,000	0,000	0,000	0,00
M17	Depreciación de equipamientos	0,05	122,17	US\$/ha/año	1,00	3,70E+12 (b)	22,601	429,428	452,029	5,29

Tabla 4. Continuación.

Indicador	Contribuciones	Fración renovable	Flujo	Unidad	Factor	Transformidad, se/J/unid	Energía renovable, E+12 se/J/ha/año	Energía no renovable, E+12 se/J/ha/año	Energía total, E+12 se/J/ha/año	%
Servicios de la economía (S)										
S1	Mano de obra fija	0,60	716,17	\$/ha/año	1	3,30E+12 (b)	1418,017	945,344	2363,361	27,66
S2	Servicios profesionales	0,60	447,03	\$/ha/año	1	3,30E+12 (b)	885,119	590,080	1475,199	17,27
S3	Servicios de mantenimiento y reparaciones	0,60	36,13	\$/ha/año	1	3,30E+12 (b)	71,537	47,692	119,229	1,40
S4	Trabajo humano	0,00	4,55E+08	J/ha/año	1,00	1,20E+06 (a)	0,000	546,000	546,000	6,39
S5	Trabajo animal	0,00	6,12E+08	J/ha/año	1,00	1,20E+06 (a)	0,000	734,400	734,400	8,60
Infraestructura (Inf)										
IF1	Útiles y herramientas	0,00	4,03	\$/ha/año	1,00	5,40E+12 (c)	0,000	0,605	0,605	0,01
IF2	Partes y piezas de repuesto	0,00	14,71	\$/ha/año	1,00	5,40E+12 (c)	0,000	2,207	2,207	0,03
Total (Y)							3286,44	5257,47	8543,92	

a) Odum (1996), b) Agostinho *et al.* (2019), c) Bassan *et al.* (2015), d) Cavalett *et al.* (2004)

de la energía total, mientras que los materiales y servicios de la economía 35,5 y 61,31 %, respectivamente. Los elementos utilizados para el mantenimiento de la infraestructura significaron 0,03 %. Se utilizaron 5 257,47 E+12 seJ/ha/año de energía no renovable, que se corresponde con 61,5 % del total e indica el insuficiente aprovechamiento de las fuentes renovables.

Hubo tendencia similar a la del año anterior, en cuanto a que los mayores aportes renovables se generaron en los servicios de la economía, pues estas contribuciones tuvieron una fracción renovable de 0,60. A este concepto también se debieron las mayores entradas no renovables, ya que las rutinas de trabajo realizadas por los ganaderos exigieron 454,7 horas/ha/año. Esta elevada cifra demuestra la intensificación de la producción agropecuaria, sustentada en la especialización productiva, en la simplificación del manejo del ganado y en la gran utilización de insumos externos, lo que según Reinoso-Pérez *et al.* (2019) constituye una de las principales causas de la pérdida de los servicios ecosistémicos de regulación y soporte.

En las tablas de síntesis energética se puede ver la existencia de flujos que, expresados en unidad energética (seJ/ha/año), fueron superiores a otros que en unidades superficiales lo rebasaron. Por ejemplo, si se compara la importación de materia prima de soya (*Glycine max* Merr.) correspondiente a 32,7 kg/ha/año, con los 3,39 kg/ha/año de pienso concentrado que se utilizaron para cerdos en mantenimiento, se puede percibir que este último empleó 10,94 E+12 seJ/ha/año más que *G. max* (tabla 4). Esto se debe a que la cantidad de energía potencial

necesaria para obtener el pienso es superior, pues el proceso industrial implica mayor uso de recursos y, en consecuencia, su posición jerárquica en términos energéticos es superior (mayor transformidad).

Las entradas energéticas al sistema durante el año 1 excedieron a las del 2, en 523,55 E+12 seJ/ha/año. La diferencia estuvo marcada por la superioridad en cuanto a materiales de la economía utilizados (fig. 2). En ambos periodos, los servicios de la economía se correspondieron con las mayores cuantías energéticas, mientras que los recursos renovables de origen natural no implicaron gastos superiores a los 300,00 E+12 seJ/ha/año y las inversiones en infraestructura se mantuvieron por debajo de los 3,00 E+12 seJ/ha/año.

Durante el año 1 (tabla 5), el sistema necesitó 2,98 E+06 seJ para producir cada J de energía contenido en la leche. En 2019 este valor ascendió a 3,28 E+06 seJ/J, lo que indicó que se realizaron mayores cantidades de transformaciones energéticas que en el periodo precedente, o sea, mayor gasto energético. Aunque la energía total utilizada fue inferior, la energía generada en el producto también se redujo, con una diferencia entre ambos años de 0,43 J/ha/año.

La relación Y/EP mostró que la disminución de insumos energéticos originó un comportamiento directamente proporcional en los rendimientos. Durante el año 2019 hubo una importación considerablemente inferior de las materias primas destinadas a la alimentación animal, por lo que la ración del ganado se limitó a los recursos disponibles, que, al ser escasos, causaron perjuicios en la producción (tabla 6). Esto indica que la productividad del sis-

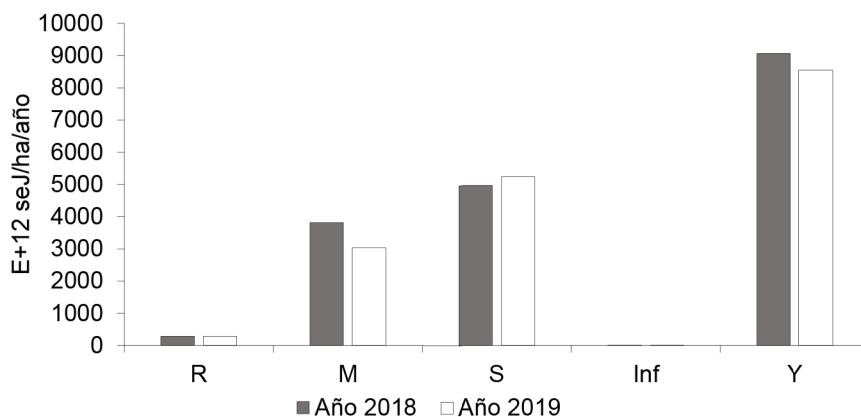


Figura 2. Representatividad de las contribuciones utilizadas por el sistema

R: recursos renovables, M: recursos materiales, S: recursos de los servicios, Y: energía total,

Inf: inversiones en infraestructura

Tabla	5.	Indicadores	de	desempeño	energético.
Indicador	Expresión	Unidad	Valor		
			Año 1	Año 2	
Tr	$Tr=Y/EP$	seJ/J	2,98E+06	3,28E+06	
% R	$\% R=100(R/Y)$	%	3,10	3,21	
% R*	$\% R=100[(R+M_R+S_R)/Y]$	%	33,82	38,47	
EYR	$EYR=Y/F$	adimensional	1,03	1,03	
EYR*	$EYR*=Y/F_n$	adimensional	1,51	1,63	
EIR	$EIR=F/I$	adimensional	31,30	30,16	
EIR*	$EIR*=F_n/(I+Fr)$	adimensional	1,96	1,60	
ELR*	$ELR*=(N+MN+SN)/(R+MR+SR)$	adimensional	1,96	1,60	
ESI*	$ESI*=EYR*/ELR*$	adimensional	0,77	1,02	
Y	$Y=I+F$	sej/ha/año	9,07E+15	8,54E+15	
EP	$EP=Pa*VC/A$	J/ha/año	3,04E+09	2,61E+09	

Pa: producción anual, VC: valor calórico de la leche=2,5 MJ/kg (Funes-Monzote, 2009), A: área, Tr: transformidad solar, % R: renovabilidad, % R*: R modificada, %, EYR: razón de rendimiento energético, EYR*: EYR modificada, EIR: razón de inversión energética, EIR*: EIR modificada, ELR*: razón de carga ambiental modificada, ESI*: índice de sostenibilidad energética modificada, Y: energía total, EP: energía del recurso.

Tabla 6. Productividad por concepto de leche.

Año	kg/año	J/kg	J/año	J/ha/año	kg/ha/año
1	43 805,42	2,50E+06	1,10E+11	3,04E+09	1 216,82
2	37 529,13	2,50E+06	9,38E+10	2,61E+09	1 042,48

tema dependió, en gran medida, de los recursos externos y, ante la carencia de alguno, se comprometieron los resultados.

La escasa diversidad biológica existente en el sistema es una causa probable de la baja productividad agraria y energética alcanzada, de acuerdo con lo planteado por Cevallos-Suarez *et al.* (2019). Además, la disponibilidad de alimentos voluminosos en la finca fue escasa, debido a una baja población de pastos de calidad, alto índice de infestación por arvenses y a que no se sembró durante largos períodos. Asimismo, la producción de forraje fue limitada, la población de especies arbóreas y arbustivas resultó pobre y no se produjeron henos ni ensilajes que compensaran la escasez de alimentos en el período poco lluvioso. Estas privaciones ponen en riesgo la seguridad alimentaria del ganado y obligan a buscar alternativas fuera de las fronteras del sistema.

La calidad del agroecosistema obedece a la medida en que se requieran menos conversiones energéticas para obtener el producto. En este sentido, la clave está en generar la mayor cantidad de energía en los productos al menor costo energético posible, lo que implica independencia de las fuentes externas.

La % R indica el porcentaje que representa la energía renovable de la naturaleza del total de energía utilizada por el sistema. Elevados valores indican mayores posibilidades de automantenerse en el tiempo, por lo que constituye un medidor de sostenibilidad. La % R* (modificada) comprende además de los recursos naturales renovables, la fracción renovable del resto de las entradas al sistema.

Los resultados (tabla 5) mostraron que la capacidad de la unidad para sostenerse a partir de los componentes naturales no superó 3,10 % (año 1) y 3,21 % (año 2) de la energía total utilizada. Al incluir en el análisis los elementos renovables utilizados por la economía (R*), hubo un aumento de 30,7 y 35,3 en los años 1 y 2, respectivamente, lo que significa que el soporte renovable del sistema fue apenas de 33,8 y 38,5 % durante cada período. Este comportamiento señala, además, el escaso aprovechamiento de las fuentes energéticas renovables de la naturaleza: el sol, las precipitaciones y el viento. Incluso, las renovabilidades parciales generadas por los materiales y los servicios fueron superiores a las ofrecidas por la naturaleza.

El aumento de este indicador de un año a otro se debió a la disminución en los volúmenes de re-

recursos no renovables utilizados. Entre estos, la diferencia estuvo marcada por los materiales de la economía (fig. 3). No obstante, los porcentajes fueron inferiores a los publicados por Bassan *et al.* (2015), quienes consideraron como baja una renovabilidad tradicional de 14,5 % obtenida en un escenario lechero que clasificaron como insostenible. Pozo *et al.* (2014) constataron que las producciones agroforestales de banana pueden presentar mejores % R (68,4 %) que las convencionales (29,3 %).

Se ha comprobado que las diferentes concepciones productivas en la lechería pueden variar el potencial renovable de los sistemas y, consecuentemente, su sostenibilidad en el tiempo. Por ejemplo, un diseño convencional en Suecia registró % R* de 2,12 % (Brandt-Williams y Fogelberg, 2004). En tanto, en Brasil, una finca familiar a pequeña escala y con manejo extensivo obtuvo renovabilidad superior a 28,9 % (Agostinho *et al.*, 2019).

Allegretti *et al.* (2018) aseguran que el origen y la calidad nutricional de las fuentes de alimentación animal influyen en el potencial de renovabilidad de los agroecosistemas y, consecuentemente, en su sostenibilidad.

Las dos variantes mediante las cuales se calculó el índice demostraron el manejo ineficiente de los recursos propios en la finca. Esto se aleja de lo planteado por Suárez-Hernández *et al.* (2018), quienes aseguran que, con la minimización del uso de insumos externos, sobre todo de aquellos que presentan elevado costo energético, se contribuye a un balance energético positivo y se incrementa la efi-

ciencia energética. Los sistemas agrícolas, que tratan de maximizar el uso de las fuentes renovables de energía para incrementar la productividad, deberían lograr alta productividad, que es equiparable a una alta eficiencia en el uso de la energía (Santagata *et al.*, 2020).

La EYR obtenida indica que ambos años tuvieron potenciales similares para exportar leche a partir de los recursos totales que se invirtieron desde la economía. Aunque el valor fue cercano a la unidad, el sistema expresó potencial para producir energía primaria. La EYR modificada sugiere que durante el 2019 existió mayor oportunidad de retirar energía por energía no renovable añadida. Esto se debe a que en ese año la relación Fr/Fn se mostró en 0,57, siendo superior al 2018 (0,46). No obstante, es importante resaltar que en ninguno de los dos periodos la fracción renovable alcanzó la unidad por cada elemento no renovable utilizado (fig. 4). En la ganadería lechera a pequeña escala (Agostinho *et al.*, 2019), se ha demostrado mayor capacidad para producir energía primaria, con EYR* de 1,72.

De acuerdo con la EIR, en los dos años evaluados, el sistema tuvo elevada dependencia externa, pues fueron necesarias 31,30 y 30,16 unidades económicas por cada unidad energética de origen natural. Mientras, el indicador modificado apuntó la utilización de 1,96 y 1,60 unidades no renovables por cada unidad renovable. Estos valores señalan el bajo desempeño del sistema. Se observó la condición más desfavorable en el 2018, pues fue nece-

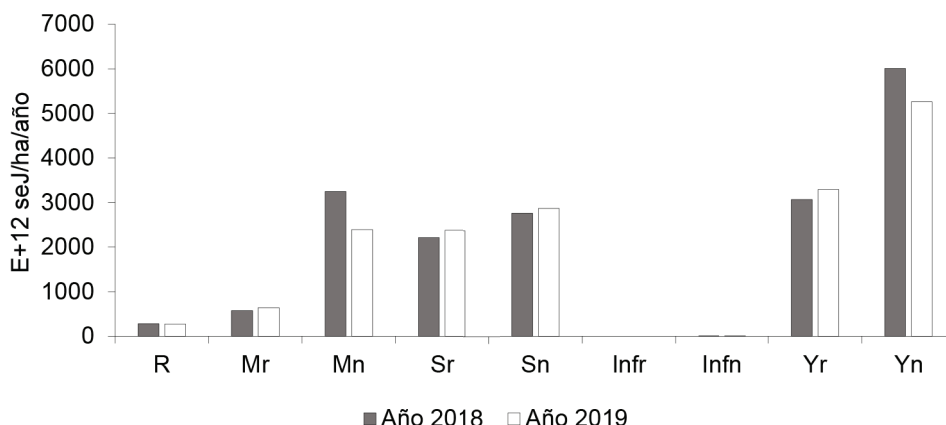


Fig. 3. Incidencia de las contribuciones renovables y no renovables. R: Recursos renovables, Mr: recursos materiales renovables, Mn: recursos materiales no renovables, Sr: recursos de los servicios renovables, Sn: recursos de los servicios no renovables, Infr: infraestructura renovable, Infn: infraestructura no renovable Yr: energía renovable, Yn: energía no renovable

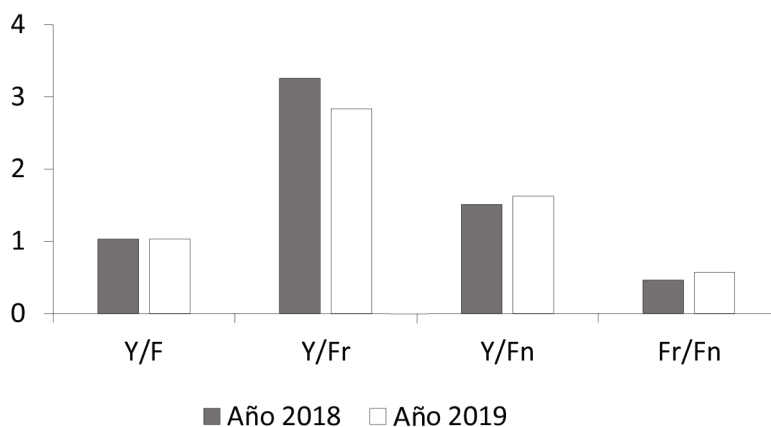


Fig. 4. Soporte renovable y no renovable del sistema

Y/F: Relación energía total / recursos de la economía, Y/Fr: relación energía total / recursos de la economía renovables, Y/Fn: relación energía total / recursos de la economía no renovable, Fr/Fn: relación recursos de la economía renovables / recursos de la economía no renovable

sario mayor gasto de energía no renovable. Como referencia, en la literatura se plantea que los sistemas naturales poseen EIR igual a cero (Agostinho *et al.*, 2019).

En esta actividad pecuaria se han valorado como poco competitivas las EIR tradicionales, significativamente menores a las obtenidas en esta investigación, con índices de 3,00 (Wada y Ortega, 2003) y 5,73 (Bassan *et al.*, 2015). Las producciones agrícolas en secano han resultado más eficientes que al aplicar riego (0,18 vs 0,34 EIR*), pues se redujeron los costos de producción (Feitosa *et al.*, 2019). Mientras, la producción integrada de carne porcina, peces y granos ha tenido más éxito (2,28 EIR*) que de forma independiente (4,61 vs. 3,21 vs 2,68 EIR*, respectivamente) (Cavalett *et al.*, 2004).

Los indicadores de ELR* correspondientes a 1,96 y 1,60 en 2018 y 2019 respectivamente, señalan bajo impacto del sistema en el ambiente, según lo planteado por Maiolo *et al.* (2021). Estos autores afirman que ELR menores que 2,00 indican bajo impacto, entre 2,00 y 10,00 impacto moderado y superior a 10,00 se asocian a predios con gran impacto ambiental. Bassan *et al.* (2015) clasificaron de alto impacto un sistema lechero con ELR* igual a 5,92.

Es imprescindible que el sistema funcione con la menor incidencia negativa posible hacia el ecosistema circundante. De acuerdo con lo observado, el escenario en cuestión presenta entre sus principales problemáticas el uso de alimentos sintéticos, que demandan mayor economía e implican el aumento de las emisiones con efecto invernadero,

como resultado de la fermentación entérica de los bovinos. Esto, a su vez, es una causa del deficiente diseño sistémico empleado, pues no se aprovechan las potencialidades de la finca para incorporar prácticas alternativas a la ganadería convencional, fundamentadas en un enfoque agroecológico sobre bases sostenibles.

Mediante la intensificación productiva del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Asgharipour *et al.* (2019) demostraron que los sistemas ecológicos incurren en menos degradación ambiental (0,86 ELR*) que los sistemas de baja (11,47 ELR*), media (20,00 ELR*) y alta gama (28,81 ELR*) de importación de insumos. De igual forma, diseños agroforestales de banana ocasionaron menos estrés ambiental (0,46 ELR*) que los convencionales (2,41 ELR*) (Pozo *et al.*, 2014).

De acuerdo con el índice de sostenibilidad energética (ESI), durante 2018 la producción de leche basada en altos insumos fue insostenible. En 2019, este indicador evidenció mejoría como resultado de la reducción de alimentos industriales. Sin embargo, el promedio entre los dos períodos mantuvo una condición desfavorable con un ESI* de 0,90. Ello señala que este sistema de producción no garantiza la perdurabilidad en el tiempo, ya que las alteraciones causadas al medio ambiente son elevadas si se comparan con la energía primaria que el escenario pone a disposición de la sociedad. Estos valores coinciden con los informados por Bassan *et al.* (2015) en lecherías en condiciones similares de manejo, quienes obtuvieron un ESI* de 0,20.

Dadas las características de la vaquería 021, enmarcadas en un enfoque especializado de la producción, se hace evidente que la evaluación de síntesis energética dejara ver como resultado general la insostenibilidad del sistema, pues muchos de los indicadores que la definen se encuentran fuera de los indicadores deseados.

A modo de resumen, se puede expresar que el porcentaje de insumos externos utilizados para la producción fue elevado. El potencial de aprovechamiento de fuentes renovables de energía asociado a tecnologías apropiadas fue escaso. El porcentaje de energía aprovechada desde los recursos de la finca solo abarcó la producción limitada de forraje con semillas obtenidas en el propio proceso y el abonado ocasional de esas áreas a partir de las deyecciones. No hubo diversificación en la producción y la intensidad laboral fue elevada. No se promovieron iniciativas por parte de los ganaderos y las instancias competentes (por tratarse de una organización estatal) para incorporar prácticas sobre bases sostenibles.

Evaluación económica. Los costos totales de producción fueron superiores durante 2018 (tabla 7). Se destacaron los gastos en materias primas y materiales, fundamentalmente los relacionados con artículos de consumo. Ello se corresponde con los resultados del desempeño energético, donde los mayores gastos energéticos fueron consecuencia de las importaciones de alimentos. En ambos años, también resaltaron los gastos en salarios, que repre-

sentaron las mayores salidas de 2019, equivalentes a 720 CUP/ha.

El precio de la leche se define a partir de la calidad que muestren los análisis de densidad y mastitis. En caso de resultar entre los indicadores deseados, el precio es de 4,50 CUP/L, y en situación contraria se penaliza a 2,40 CUP/L. La venta a los trabajadores de la vaquería se realiza a 0,25 CUP/L y a los prestamistas de servicios a 1,00 CUP/L. Estos precios permitieron que, a pesar de los costos productivos y los bajos rendimientos alcanzados, el beneficio bruto de la producción fuera de 2 410 y 1 560 CUP/ha en los años 1 y 2, respectivamente (tabla 7).

La relación beneficio/costo demostró que el sistema fue rentable. Por cada CUP invertido en 2018 ingresaron 2,12 CUP, indicador que disminuyó en 2019, año en que se obtuvieron 1,80 CUP/CUP invertido. Todos los indicadores financieros tuvieron mejor comportamiento en 2018, excepto los costos totales que, a pesar de ser superiores, según la observación gráfica manifestaron un acercamiento (fig. 5).

Los resultados de esta evaluación económica demuestran las razones por las cuales, durante años, este escenario, como una buena parte de los sistemas productivos cubanos, lecheros o no, mantiene un manejo convencional de las producciones, pues solo se valora la rentabilidad en términos financieros. La relación beneficio/costo mostró que la producción de leche fue rentable. Sin embargo,

Tabla 7. Indicadores económicos por años.

Indicador	Año	
	1	2
	miles de CUP/ha	
Ingreso neto de la producción	4,56	3,51
Costos totales de producción (costos fijos + costos variables)	2,15	1,95
Materias primas y materiales	0,65	0,49
Combustibles	0,02	0,01
Energía	0,20	0,13
Salarios	0,63	0,72
Depreciación de activos fijos	0,17	0,12
Servicios profesionales	0,37	0,48
Beneficio bruto	2,41	1,56
Relación beneficio/costo	2,12	1,80

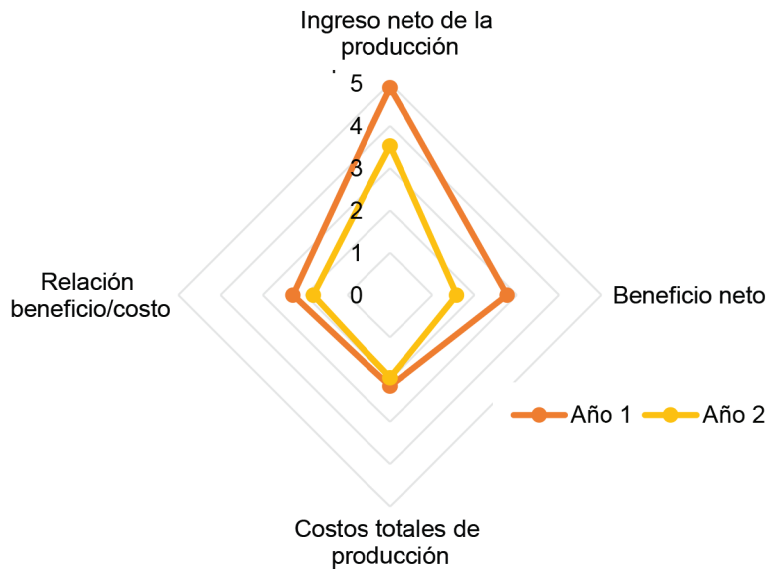


Fig. 5. Comportamiento de los indicadores económicos

la evaluación energética arrojó el resultado contrario, pues esta metodología consideró, además de los gastos y los ingresos monetarios generados por los materiales económicos, todas las contribuciones realizadas por la naturaleza y las actividades antropogénicas, que también representan gastos.

Complementar la contabilidad presupuestaria con la contabilidad de emergencia posibilita evaluar el trabajo del sistema biogeofísico en los sistemas agropecuarios y, por lo tanto, llevar una evaluación integral de los recursos al análisis económico. Al hacerlo, aumenta el valor económico total de los recursos con una perspectiva de donante, que enriquece el análisis económico y fomenta decisiones económicas mejor informadas, plenamente justificadas y sostenibles (Fonseca *et al.*, 2019).

Los análisis energéticos no se deben considerar una alternativa a los análisis financieros, sino un complemento para cubrir mejor las complejas interrelaciones entre las finanzas y el ambiente en que operan los sistemas alimentarios (Giampietro *et al.*, 1994).

Conclusiones

Los indicadores energéticos expresaron la incapacidad del agroecosistema para sostenerse en el tiempo bajo un diseño convencional de la producción. Se registraron altos gastos energéticos (2,98 E+06 y 3,28 E+06 seJ/J), bajo soporte a partir de fuentes renovables (33,82 y 38,47 %), adecuado potencial para producir energía primaria (1,51 y 1,63)

y elevada dependencia de recursos externos (1,96 y 1,60).

El análisis económico clásico mostró la rentabilidad del agroecosistema, mientras la evaluación de síntesis energética demostró que es insostenible, pues esta metodología considera, además de los gastos y los ingresos por concepto monetario, todas las contribuciones realizadas por la naturaleza, las actividades antropogénicas y los materiales económicos.

Agradecimientos

Se agradece al proyecto Desarrollo del escenario tecnológico-científico-docente-productivo de la agricultura cubana en la Granja Universitaria Guayabal, auspiciado por la Facultad de Agronomía/ Universidad Agraria de la Habana Fructuoso Rodríguez (UNAH) / Ministerio de Educación Superior, por su valiosa contribución al desarrollo de la investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribuciones de autores

- Jenifer Alvarez-Lima. Diagnóstico, levantamiento de datos, análisis e interpretación de la información, formulación de objetivos, establecimiento de los métodos de trabajo y elaboración del documento escrito.

- Yanoy Morejón-Mesa. Interpretación de los datos, formulación de objetivos, establecimiento de los métodos de trabajo, redacción y revisión del artículo.
- José Carlos Oliva-Suárez, Diagnóstico, levantamiento de datos, análisis e interpretación de la información, formulación de objetivos, establecimiento de los métodos de trabajo y redacción del artículo.
- Pedro Pablo del Pozo-Rodríguez. Interpretación de los datos y revisión del artículo.

Referencias bibliográficas

- Acosta, A.; Betancourt-Roche, J.; Bu-Wong, Á.; Fernández-Domínguez, P.; Mok-León, L.; Morales-Valiente, Claudia *et al.* *Estudio sobre la competitividad de la producción lechera cubana*. La Habana: INIE, IIPF, MINAG, FAO. https://www.researchgate.net/profile/Liu-Mok-Leon/publication/325498262_Estudio_de_competitividad_de_la_produccion_lechera_cubana/links/5b50ae2945851507a7b1baca/Estudio-de-competitividad-de-la-produccion-lechera-cubana.pdf, 2017.
- Agostinho, F.; Oliveira, M. W.; Pulselli, F. M.; Almeida, C. M. V. B. & Giannetti, B. F. Emergy accounting as a support for a strategic planning towards a regional sustainable milk production. *Agric. Syst.* 176:102647, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102647>.
- Allegretti, G.; Talamini, E.; Schmidt, V.; Bogorni, P. C. & Ortega, E. El insecto como alimento: una evaluación emergente de la harina de insectos como fuente de proteína sostenible para la industria avícola brasileña. *Producción + Limpia*. 171:403-412, 2018.
- Asgharipour, M. R.; Shahgholi, H.; Campbell, D. E.; Khamari, Issa & Ghadiri, A. Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. *Environ. Monit. Assess.* 191 (1):1-32, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7123-3>.
- Bassan, E. E.; Arcaro, I. & Ambrosio, L. A. Sustainability of milk production system: Capital diagnosis and emergy synthesis. Emergy synthesis 8. *Proceedings of the 8th Biennial Emergy Conference*. Gainesville, USA, 2015.
- Brandt-Williams, S. L. & Fogelberg, S. C. L. Nested comparative emergy assessments using milk production as a case study. *3rd Biennial Emergy Research Conference*. Gainesville, USA: University of Florida. <https://cep.ees.ufl.edu/emergy/conferences/index.shtml>, 2004.
- Carmenate-Figueredo, O.; Pupo-Feria, C. & Herrera-Toscano, J. A. Propuesta de acciones para la reconversión agroecológica de una finca en el municipio Las Tunas. *COODES*. 7 (2):264-274. <http://scielo.sld.cu/pdf/cod/v7n2/2310-340X-cod-7-02-264.pdf>, 2019.
- Cavalett, O.; Queiroz, J. F. de & Ortega, E. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecol. Modell.* 193 (3):205-224, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.07.023>.
- Cevallos-Suarez, M.; Urdaneta-Ortega, Fátima & Jaimes, E. Desarrollo de sistemas de producción agroecológica: Dimensiones e indicadores para su estudio. *Revista de Ciencias Sociales, Ve.* XXV (3):172-183. <https://www.redalyc.org/journal/280/28060161012/html/>, 2019.
- Feitosa, E. O.; Lopes, F. B.; Andrade, Eunice M.; Palácio, Helba A. Q. & Bezerra, F. M. L. Sustainability of different production systems papaya (*Carica papaya* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) in the semi-arid region. *Chil. j. agric. res.* 79 (1):114-123, 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392019000100114>.
- Fonseca, A. M.; Marques, C.; Pinto-Correia, T.; Guiomar, N. & Campbell, D. Evaluación de emergencia para la toma de decisiones en sistemas agrícolas multifuncionales complejos. *Sistemas agrícolas*. 171:1-12, 2019.
- Funes-Monzote, F. R. *Agricultura con futuro. La alternativa agroecológica para Cuba*. Matanzas, Cuba: EEPF Indio Hatuey, 2009.
- Giampietro, M.; Bukkens, Sandra G. F. & Pimentel, D. Models of energy analysis to assess the performance of food systems. *Agric. Syst.* 45 (1):19-41, 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(94\)90278-X](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(94)90278-X).
- López-Bastida, E. J.; García-Martínez, Yolanda & Valdés-López, A. Evaluación de la sostenibilidad de la producción de azúcar crudo mediante el análisis emergético. *Centro Azúcar*. 45 (2):59-67. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000200006&lng=pt&tlng=es, 2018.
- Maiolo, Silvia; Cristiano, S.; Gonella, F. & Pastres, R. Ecological sustainability of aquafeed: An emergy assessment of novel or underexploited ingredients. *J. Clean. Prod.* 294:126266, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126266>.
- Nielsen, S. Reducciones en ecología y termodinámica. Sobre los problemas que surgen al trasladar el concepto de exergía a otros niveles jerárquicos y dominios. *Indicadores Ecológicos*. 100:118-134, 2019.
- Odum, H. T. *Environmental accounting: emergy and environmental decision making*. New York: Wiley, 1995.
- ONEI. *Anuario estadístico de Cuba 2019. Sector agropecuario indicadores seleccionados*. La Habana: Oficina Nacional de Estadística e