

Evaluación de la eficiencia energética de la finca "El Charrabascal"

Energetic efficiency's evaluation of the farm "El Charrabascal"

Sixto Malagón Morales, Amauri Rivero Artega, Anaimy Gigato Toledo, Isidro Miravet Infante, Yusneisis Ravelo Arteaga, Jorge Reinoso Collado.

Facultad de Ciencias Forestales y Agropecuarias, Universidad de Pinar del Río, Hermanos Saiz Montes de Oca, Departamento de Agronomía de Montaña de San Andrés.

Email: malagon.86@nauta.cu

Fecha de recepción: 14 de mayo de 2020 Fecha de aceptación: 17 de junio de 2020

RESUMEN. La siguiente investigación fue realizada en la finca "El Charrabascal" perteneciente a la CCS Ignacio Agramonte y Loynaz con el objetivo de evaluar la eficiencia energética. El estudio fue desarrollado en los años 2016, 2017 y 2018, se realizó un diagnóstico agroecológico de la finca y partiendo del mismo se determinó el índice de eficiencia energética. Para obtener los datos se entrevistaron los productores, realizando directamente las preguntas contenidas en las encuestas. Los resultados muestran que el índice eficiencia energética del agroecosistema evaluado es alta, resultando el indicador intensidad energética el que marca las diferencias significativas para los tres años de estudio.

Palabras clave: agroecosistema, eficiencia energética, intensidad energética, energía ecológica, biomasa, seguridad alimentaria.

ABSTRACT. The following investigation was realized at the farm known as El Charrabascal. The farm belongs to cooperative CCS Ignacio Agramonte y Loynaz and the objective was to evaluate the energetic efficiency. The study was developed in 2016, 2017 and 2018, using and agroecological diagnostic to determine the index of energetic efficiency. Data was obtained through interviews to producers, using the questions contained in a survey prepared previously for this investigation. Was found show the index energetic efficiency is high, the indicator energetic intensity, show significant differences between the three years of study.

Key words: agroecosystem, energetic efficiency, energetic intensity, energy ecology, biomass, security alimentary

INTRODUCCIÓN

En los últimos 40 años el desarrollo de la agricultura industrializada, basado en la lógica de la Revolución Verde, ha hecho que las fincas campesinas sean cada vez más especializadas y dependientes de insumos externos, es decir de productos sintéticos de los hidrocarburos (Rodríguez C. 2016). La agroecología se perfila hoy como la ciencia fundamental para orientar la conversión de sistemas convencionales de producción (monocultivos dependientes de insumos agroquímicos) a sistemas más diversificados y autosuficientes, proporcionando mayor

resiliencia al cambio climático mediante prácticas y adaptaciones productivas desarrolladas por los pequeños agricultores (Infante et al., 2017; Vásquez, 2016; Ardila, 2015; Altieri MA., 2013). La tendencia del desarrollo del modelo agrícola cubano posterior a la Revolución de 1959 y anterior a los años 90, se basó en una agricultura industrial, de altos insumos, baja eficiencia y alta dependencia externa; sustentada en una gran disponibilidad y uso de recursos foráneos, lo que, entre otros factores, creó una mentalidad entre los campesinos de que solo con altos insumos, elevada mecanización e inversiones por área se pueden obtener altas producciones (CPP, 2014; García et al., 2014; Nova, 2016). Las evidencias ampliamente comprobadas y documentadas por numerosos científicos a nivel mundial (Nicholls et al 2015 y Altieri, 2015) demuestran el alto potencial de los sistemas agroecológicos para lograr una producción agropecuaria ambientalmente sana, ecológicamente sostenible, económicamente viable y socialmente justa.

Entre las prácticas agroecológicas más radicales que fortalecen la eficiencia energética de los agroecosistemas son, la diversificación de los agroecosistemas en forma de policultivos, los sistemas agroforestales, los sistemas que combinen la agricultura con la ganadería, acompañados por el manejo orgánico de los suelos, la conservación y la cosecha de agua y un incremento general de la agrobiodiversidad (Nicholls y Altieri, 2017).

También la eficiencia energética constituye un elemento imprescindible para la seguridad alimentaria, debido a que disminuye la dependencia de estas producciones a los insumos con altos precios en el mercado internacional y por tanto las hace mucho más sostenibles, siempre y cuando se conozca cómo fluye la energía a través de los diferentes subsistemas y su interacción. Para esto nos apoyamos en una serie de indicadores energéticos, siendo estos la piedra angular del balance energético, de aquí parten todos los análisis derivados de la eficiencia con que se transforma la energía en el agroecosistema (Funes-Monzote et al. 2009a).

Por tanto, el conocimiento y la cuantificación de la eficiencia energética de los sistemas de producción de alimentos es fundamental para diseñar mejores estrategias de manejo agrícola y toma de decisiones políticas, estos elementos deben incorporarse como metodología para lograr un uso más eficiente de las fuentes energéticas disponibles, tanto biológicas como industriales (Ríos et al., 2011; Funes-Monzote et al., 2011).

La finca El Charrabascal no ha estado exenta de esta situación, ya que los campesinos de la zona se dedican en su gran mayoría al cultivo del tabaco y el café, dependiendo de insumos

externos y paquetes tecnológicos cargados de químicos, dejando a un lado la diversificación de las producciones, incidiendo en el incremento de los problemas ambientales tales como la degradación de los suelos, contaminación de las aguas y pérdida de la biodiversidad local (Malagón et al.,2019). Por lo que surgió la necesidad de conocer en qué medida la adopción de técnicas y tecnologías del modelo agrícola Agroecológico y Sustentable, ha incidido en este agroecosistema con el objetivo general de evaluar la eficiencia energética en la finca El Charrabascal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica.

La investigación se desarrolló en áreas de la finca El Charrabascal del productor Agustín Pimentel Navarro, Se encuentra ubicada a los 22 41 08,2 latitud N y a los 83 33 41,3 longitud W. La misma posee una superficie total de 2.68 ha, de ellas se dedican a la producción vegetal (agrícola) un 1,92 ha y a la producción animal 0.76 ha. Esta pertenece a la CCS "Ignacio Agramonte y Loynaz" en Puesto Escondido, Consejo popular Rafael Ferro, municipio La Palma, provincia de Pinar del Río.



Figura 1. Ubicación de la finca El Charrabascal, en la provincia Pinar del Río.

Metodología experimental.

Datos necesarios recopilados para la elaboración de la investigación.

Para obtener los datos se entrevistaron los productores, realizando directamente las preguntas contenidas en las encuestas. Este procedimiento implicó mayor consumo de tiempo, pero facilitó el proceso y redujo el número de errores debido a respuestas ambiguas. Mediante las encuestas se obtuvieron los datos de las cantidades de insumos adquiridos y utilizados en la finca durante los tres años de investigación:

- Fertilizantes químicos.
- Productos químicos para el control de plagas.
- Productos biológicos para la nutrición de la planta.
- Combustibles y lubricantes.
- Concentrados para la alimentación animal.
- Adicionalmente, se les preguntó las horas de trabajo humano y animal, así como las de empleo de la maquinaria.

Indicadores evaluados en la investigación.

Costo energético de la proteína (MJ/kg)

Rendimiento productivo (t/ha)

Proteína producida (Kg/ha)

Energía producida (MJ/ha)

Intensidad de la fuerza de trabajo (Horas/ha)

Energía insumida (MJ/ha)

Personas que alimenta con energía (Personas/ha)

Personas que alimenta con proteínas (Personas/ha)

Intensidad energética (MJ/Unidad)

Balance energético (MJ)

Nota: Estos indicadores se calculan por unidad de superficie (hectárea), de manera que permiten comparar objetivamente su comportamiento en los diferentes años.

Balance Energético

Se emplearon elementos del sistema computarizado ENERGIA 3.01 (Funes-Monzote et al., 2009) y así se facilitaron las operaciones de cálculo y la obtención de un rápido resultado. Para el cálculo de los indicadores energéticos se tomaron en cuenta las equivalencias de los diferentes insumos agropecuarios.

Fórmula para el cálculo del Balance Energético.

$$BE = \frac{\sum_{i=1}^S m_i * e_i}{\sum_{j=1}^T I_j * f_j}$$

Dónde: S= Número de productos; m= Producción de cada producto (kg); e= Contenido energético de cada producto (MJ/kg); T= Número de insumos productivos I= Cantidad de insumos productivos (kg); f= Energía requerida para la producción del insumo (MJ/kg).

Fórmula para el cálculo del Costo Energético de la Proteína.

$$CEP = \frac{\sum_{j=1}^T I_j * f_j}{\sum_{i=1}^S m_i * \frac{P_i}{100}}$$

Dónde: T= Número de insumos productivos; I= Cantidad de insumos productivos (kg) f= Energía requerida para la producción del insumo (MJ/kg); S= Número de productos; m= Producción de cada producto (kg); Pi= Contenido proteico de cada producto (en % del peso).

Fórmula para el cálculo de la cantidad de personas que alimenta el sistema con energía:

$$P_e = \frac{\sum_{i=1}^S \frac{m_i * \frac{r_i}{100} * e_i}{A}}{R_e}$$

Dónde: S= Número de productos; mi= Producción de cada producto (kg); ri= Porcentaje del peso del producto no consumible; ei= Contenido energético de cada producto (MJ); A= Área de la finca; Re= Requerimiento energético promedio de una persona (MJ).

Personas que alimenta el sistema con proteínas

Todos los análisis se realizarán tomando como base los estándares internacionales de requerimiento proteico necesarios para el ser humano (0,0795 kg/día), requerimiento moderado, edad de 30 a 50 años para 50 % masculino y 50 % femenino). Fórmula para el cálculo de la cantidad de personas que alimenta el sistema con proteínas.

$$P_p = \frac{\sum_{i=1}^s \frac{m_i * r_i * P_i}{100 * 100}}{R_p} \cdot A$$

Dónde: S= Número de productos; mi= Producción de cada producto (kg); ri= Porcentaje del peso del producto no consumible; Pi= Contenido proteico de cada producto (% de peso); A= área de la finca; Rp= Requerimiento proteico promedio de una persona (kg).

SISTEMA COMPUTARIZADO ENERGÍA 3.01

El sistema computarizado Energía 3.01 (Funes-Monzote et al., 2009) permite realizar el cálculo de 15 parámetros relacionados con la eficiencia energética del sistema productivo.

Tabla 1. Parámetros relacionados con la eficiencia energética.

Parámetros	Descripción	Fórmula
Horas de trabajo humano sobre hectáreas	Número de horas de trabajo humano por hectárea de terreno.	$TH = \frac{hortrabhum}{area}$ <p>Donde. hor trabhun: Número total de horas de trabajo humano invertidas. area: Área de la finca, en hectáreas.</p>
Energía insumida (Megajoules/ha)	Cantidad de energía gastada por concepto de insumos utilizados, expresado en megajoules por una hectárea de terreno.	$EI = \frac{gasto * energia}{area}$ <p>Donde. gasto: Gasto del insumo, en su unidad de medida. energía: Equivalente energético de la unidad del insumo, en megajoules. area: Área de la finca, en hectáreas.</p>
Rendimiento productivo (Toneladas/ha)	Rendimientos de las producciones agrícolas, expresado en toneladas (correspondiente al producto producido) por una hectárea de terreno.	$RP = \frac{produccion * factor}{area * 1000}$ <p>Donde. produccion: Producción del producto, en su unidad de medida. factor: Factor de conversión a kilogramo. area: Área de la finca, en hectáreas.</p>
Energía producida (Megajoules/ha)	Cantidad de energía producida por concepto de producciones agrícolas, expresado en megajoules por una hectárea de terreno.	$EP = \frac{produccion * energia}{area}$ <p>Donde. produccion: Producción del producto, en su unidad de medida.</p>

		energía: Equivalente energético de la unidad del insumo, en megajoules. area: Área de la finca, en hectáreas.
Proteína producida (Kg/ha)	Cantidad total de proteínas producida por concepto de producciones agrícolas, expresado en kilogramos por una hectárea de terreno.	$PP = \frac{\text{produccion} * \text{factor} * \frac{\text{proteina}}{100}}{\text{area}}$ <p>Donde. produccion: Producción del producto, en su unidad de medida. factor: Factor de conversión a kilogramo. proteina: por ciento de contenido de proteínas del producto. area: Área de la finca, en hectáreas.</p>

Proteína de origen vegetal producida (Kg/ha)	Cantidad de proteínas de origen vegetal producida por concepto de producciones agrícolas, expresado en kilogramos por una hectárea de terreno.	$PV = \frac{\text{produccion} * \text{factor} * \frac{\text{prveget}}{100}}{\text{area}}$ <p>Donde. produccion: Producción del producto, en su unidad de medida. factor: Factor de conversión a kilogramo. prveget: por ciento de contenido de proteínas de origen vegetal del producto. area: Área de la finca, en hectáreas.</p>
Proteína de origen animal producida (Kg/ha)	Cantidad de proteínas de origen vegetal producida por concepto de producciones agrícolas, expresado en kilogramos por una hectárea de terreno.	$PA = \frac{\text{produccion} * \text{factor} * \frac{\text{pranim}}{100}}{\text{area}}$ <p>Donde. produccion: Producción del producto, en su unidad de medida. factor: Factor de conversión a kilogramo. pranim: por ciento de contenido de proteínas de origen animal del producto. area: Área de la finca, en hectáreas.</p>
Personas que alimenta con energía (Personas/ha)	Número de personas que se pueden alimentar con las producciones agrícolas de acuerdo a requerimientos energéticos anuales, expresado en personas por una hectárea de terreno.	$AE = \frac{\text{produccion} * \text{energia}}{\text{area} * \text{reqenerg}}$ <p>Donde. produccion: Producción del producto, en su unidad de medida. energia: Equivalente energético de la unidad del insumo, en megajoules. area: Área de la finca, en hectáreas. reqenerg: requerimiento energético anual de una persona promedio, en megajoules.</p>

<p>Personas que alimenta con proteínas (Personas/ha)</p>	<p>Número de personas que se pueden alimentar con las producciones agrícolas de acuerdo a requerimientos de proteínas anuales, expresado en personas por una hectárea de terreno.</p>	$AP = \frac{\frac{produccion * factor * \frac{proteina}{100}}{area}}{reqprot}$ <p>Donde. produccion: Producción del producto, en su unidad de medida. factor: Factor de conversión a kilogramo. proteina: por ciento de contenido de proteínas del producto. area: Área de la finca, en hectáreas. reqprot: requerimiento en proteínas anual de una persona promedio, en kilogramos.</p>
<p>Personas con proteínas de origen vegetal (Personas/ha)</p>	<p>Número de personas que se pueden alimentar con las producciones agrícolas de acuerdo a requerimientos de proteínas de origen vegetal anuales, expresado en personas por una hectárea de terreno.</p>	$AV = \frac{\frac{produccion * factor * \frac{proteina}{100}}{area}}{reqprveg}$ <p>Donde. produccion: Producción del producto, en su unidad de medida. factor: Factor de conversión a kilogramo. proteina: por ciento de contenido de proteínas del producto. área: Área de la finca, en hectáreas. reqprveg: requerimiento en proteínas de origen vegetal anual de una persona promedio, en kilogramos.</p>
<p>Personas con proteínas de origen animal (Personas/ha)</p>	<p>Número de personas que se pueden alimentar con las producciones agrícolas de acuerdo a requerimientos de proteínas de origen animal anuales, expresado en personas por una hectárea de terreno.</p>	$AA = \frac{\frac{produccion * factor * \frac{proteina}{100}}{area}}{reqpranim}$ <p>Donde. produccion: Producción del producto, en su unidad de medida. factor: Factor de conversión a kilogramo. proteina: por ciento de contenido de proteínas del producto. area: Área de la finca, en hectáreas. reqpranim: requerimiento en proteínas de origen animal anual de una persona promedio, en kilogramos.</p>
<p>Costo energético de la proteína (Megajoules/kg)</p>	<p>Relación (cociente) entre la energía total gastada por concepto de insumos utilizados y la cantidad total de proteína producida, expresado en megajoules por un kilogramo.</p>	$CEP = \frac{enertotgast}{prottotprod}$ <p>Donde. enertotgast: Cantidad total de energía gastada, en megajoules. prottotprod: Cantidad total de proteínas producidas, en kilogramos.</p>
<p>Productividad energética del</p>	<p>Relación (cociente) entre las horas de trabajo</p>	$PET = \frac{hortrabhum}{enertotprod}$

trabajo (Horas/megajoule)	humano invertidas y la energía total producida, expresado en horas por un megajoule.	Donde. hortrabhum: Número total de horas de trabajo humano invertidas. energtotprod: Cantidad total de energía producida, en megajoules.
Productividad proteica del trabajo (Horas/kilogramo)	Relación (cociente) entre las horas de trabajo humano invertidas y la proteína total producida, expresado en horas por un kilogramo.	$PPT = \frac{hortrabhum}{prottotprod}$ Donde. hortrabhum: Número total de horas de trabajo humano invertidas. Prottotprod: Cantidad total de proteínas producidas, en kilogramos.
Balance energético	Relación (cociente) entre la energía producida en forma de productos y la energía gastada en forma de insumos.	$BE = \frac{energprod}{energast}$ Donde. energprod: Cantidad total de energía producida, en megajoules. energast: Cantidad total de energía gastada, en megajoules.

Procesamiento estadístico.

Análisis Multivariante y Correlación de Pearson para los componentes de la eficiencia energética.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Eficiencia energética.

En la Tabla 2, se muestra la relación de energía y proteína producida durante los tres años que duró el estudio, destacando el año 2018 como el de mayores resultados en cuanto a proteína y energía producida superando los 600,20 kg/ha, lo que representa un aporte energético de 69,066 MJ/ha. Cabe destacar que este incremento puede estar dado por el aumento en 15 del número de puercos destinados a la producción de carne en un contrato familiar porcino, el cual tiene un peso determinante en el indicador de proteína producida por ha. Estos resultados corroboran lo planteado por (Valdés, et al, 2012) quienes en su sobre eficiencia energética de los ecosistemas agrícolas del municipio La Palma, plantearon que el número de personas que puede alimentar o sustentar un ecosistema agrícola es un buen indicador para relacionar su capacidad productiva con su capacidad alimentaria y nutricional, elementos claves a tener en cuenta para la soberanía y seguridad alimentaria.

Tabla 2. Energía y proteína producida en la finca "El Charrabascal".

Años	Energía Producida (MJ/ha)	Producción de Proteína (kg/ha)
------	------------------------------	-----------------------------------

2016	8.900	66,55
2017	16.864	100,34
2018	69.066	607,20

Si analizamos los resultados mostrados en las Tablas 3, 4 y 5 observamos los gastos por insumos y su equivalente energético en la finca correspondiente a los tres años de estudio.

Como se puede apreciar los resultados muestran que el trabajo humano al igual que el animal, disminuyen a la medida en que el sistema logra una mejor interacción y pasa a mejores niveles de sostenibilidad, reduciéndose el empleo de la mano de obra por la eficiencia de la implementación de técnicas y tecnologías agroecológicas, las cuales son más eficientes y reducen el esfuerzo humano en el manejo de la finca.

En cuanto al indicador combustible, no tiene variación en el primer y tercer año de la investigación, pues en estos años se utilizó mayormente para el riego de los principales cultivos agrícolas y la limpieza de las instalaciones del ganado porcino. Siendo en el segundo año de la misma más elevado el consumo de este indicador, pues se necesitó utilizar de mayor manera para hacer algunas obras de infraestructura transportación de recursos y materiales para la finca.

Tabla 3. Gastos por insumos y su equivalente energético de la finca El Charrabascal en el año 2016.

Insumo	Gasto	Unidad de medida	Equivalente energético (Megajoules/ha)
Trabajo humano	7.500,000	Horas	6.520,02
Trabajo animal	2.000,000	Horas	9.609,91
Alimento animal concentrado	2,000	Kilogramos	9.153,50
Diesel	200,000	Litros	5.802,98
Electricidad	800,000	Kilowatts (electricidad)	3.955,00
Fertilizante fósforo	56,000	Kilogramos	145,655
Fertilizante nitrógeno	72,000	Kilogramos	3.785,50
Fertilizante Orgánico	1500,0	Kilogramos	895
Fertilizante potasio	56,000	Kilogramos	126,235
Insecticida	4,000	Kilogramos	1000
Pienso criollo	453,000	Kilogramos	1.147,39
Semillas	2,000	Kilogramos	2000
Leña	121,000	Kilogramos	5.000,00
Totales	12.766,00		49.141,18

Tabla 4. Gastos por insumos y su equivalente energético de la finca El Charrabascal en el año 2017.

Insumo	Gasto	Unidad de medida	Equivalente energético (Megajoules/ha)
Trabajo humano	6.500,000	Horas	6.800,950
Trabajo animal	1.000,000	Horas	5.859,700
Pienso concentrado para porcino	2400	Kilogramos	1.983,236
Diesel	150,0	Litros	5.802,975
Electricidad	685,0	Kilowatts (electricidad)	3.955,000
Fertilizante Fósforo	0	Kilogramos	0,000
Fertilizante Nitrógeno	68,0	Kilogramos	4357,00
Fertilizante Orgánico	1967	Kilogramos	1234
Fertilizante Potasio	0	Kilogramos	0,000
Insecticidas	0	Kilogramos	0,000
Piensos criollos	2,000	Kilogramos	4,269
Semillas	3,000	Kilogramos	68,345
Leña	250,000	Kilogramos	5.000,000
Totales	8.830,000		35,065,84

Tabla 5. Gastos por insumos y su equivalente energético de la finca El Charrabascal en el año 2018.

Insumo	Gasto	Unidad de medida	Equivalente energético (Megajoules/ha)
Trabajo humano	4.034,000	Horas	4.220,77
Trabajo animal	789,000	Horas	4.623,30
Concentrado para ganadería	2800	Kilogramos	3.354,98
Diesel	85	Litros	1.802,98
Electricidad	498,0	Kilowatts (electricidad)	1.880,00
Fertilizante fósforo	0,000	Kilogramos	0
Fertilizante nitrógeno	0,000	Kilogramos	0
Fertilizante orgánico	2300,0	Kilogramos	1854
Fertilizante potasio	0,000	Kilogramos	0
Insecticida	0,000	Kilogramos	0
Pienso criollo	3100,0	Kilogramos	3.185,39
Salvado	5110	Kilogramos	4000
Tractor	203,000	Horas	2.140,00
Leña	4.034,000	Kilogramos	4.220,77
Totales	6.707,000		27.061,273

En cuanto al uso de los fertilizantes para el segundo año, se eliminan los portadores químicos de fósforo y potasio y solo se mantiene el portador nitrogenado para la fertilización específica de algunos cultivos, específicamente utilizado en la fertilización foliar en especies de huerto y arroz.

Para el tercer año se utiliza solamente el fertilizante orgánico, la finca ya no planta tabaco, que es donde se concentraba el mayor uso de fertilizantes químicos e insecticidas, este último desaparece desde el segundo año de investigación.

La eficiencia energética de un sistema agropecuario puede ser relativa a la intensidad con que se utilicen los recursos energéticos internos o externos (modelos productivos abiertos o cerrados, industriales o de bajos insumos), pero también es relativa al tipo de producción que se realice (frutas, carne, hortalizas, leche, madera, posturas, etc.). Como se señaló anteriormente, la producción vegetal es intrínsecamente más eficiente en el uso y conversión de la energía que el animal. Las plantas, por ser organismos autótrofos, se encuentran en el primer eslabón de la cadena alimentaria y son consideradas productores primarios. Mientras que un sistema ganadero de productividad media llega a proveer suficiente energía y proteína para cubrir los requerimientos de entre dos y tres personas por hectárea (Funes-Monzote et al., 2009).

Los animales son productores de fuentes proteicas, vitaminas, grasas, minerales, servicios y otros recursos muy preciados para la industria. También consumen subproductos agrícolas y alimentos fibrosos que no pueden ser utilizados directamente en la alimentación humana, y que aprovechan antes de incorporarse al suelo. Por tanto, cumplen importantes funciones de reciclaje de nutrientes dentro de la concepción de los sistemas integrados (Funes-Monzote, 2009). Además, algunos animales se utilizan con frecuencia por los agricultores para realizar labores de tiro y trabajos pesados como el cultivo y laboreo del suelo, las cuales constituyen un ahorro energético y otra forma de reciclar la energía dentro del sistema.

Según (Vásquez et al., 2015), la diferencia fundamental entre la agricultura convencional y la ecológica, desde el punto de vista energético, radica en que la primera recurre a fuentes de energía externa para mantener los equilibrios internos del sistema, mientras que en la segunda este equilibrio se logra fomentando los ciclos vitales de la naturaleza. Es por esto que el grado de artificialización de un agroecosistema está relacionado directamente con la alteración de estos ciclos y la introducción de insumos externos.

Por otra parte, señalan (Funes-Monzote et al., 2009) que un sistema biodiverso no es necesariamente más productivo o más eficiente que uno de monocultivo; ni tampoco uno de menor escala, por ser pequeño, es intrínsecamente más eficiente. Los niveles de eficiencia de un sistema dependen más del diseño y manejo de los componentes que lo conforman. La ventaja de un sistema basado en la diversidad y a menor escala reside fundamentalmente en que su diseño permite una integración armónica y funcional entre sus componentes y un mayor control de las interacciones en juego. En ocasiones existen recursos que son deficientemente o poco utilizados, por ejemplo, la energía solar, el agua o los nutrientes, porque el sistema no está concebido para tal fin. Por lo general, esto ocurre debido al desconocimiento de las combinaciones apropiadas ganadería-agricultura y de los sistemas de rotación más adecuados que permitan capturar estos recursos. Una vez que están disponibles y son capturados de forma eficiente, el sistema debe ser capaz de convertir la energía en biomasa (alimento humano), desempeñar otras funciones (mejorar el suelo, alimentar a los animales o generar empleo) e incluso cumplir objetivos espirituales, ambientales o simplemente paisajísticos, a lo cual llamamos multifuncionalidad. De esta forma se logrará una integración entre los factores biofísicos y de manejo que permitirá una producción sustentable, no solo desde el punto de vista productivo, sino también desde el ambiental y el socioeconómico.

Procesamiento estadístico de los componentes de la eficiencia energética.

El primer test de contrastes multivariados mostrados en la tabla 6, primeramente para intersección y posteriormente para los años, no arrojan diferencias significativas para ninguna variable del estudio, al someterse las mismas a un análisis de covarianza para los tres años del estudio.

Tabla 6. Análisis multivariado de los componentes de la eficiencia energética.

Contrastes multivariados^a						
Efecto		Valor	F	Gl de la hipótesis	Gl del error	Sig.
Intersección	Traza de Pillai	,439	,783b	1,000	1,000	,539
	Lambda de Wilks	,561	,783b	1,000	1,000	,539
	Traza de Hotelling	,783	,783b	1,000	1,000	,539
	Raíz mayor de Roy	,783	,783b	1,000	1,000	,539
Año	Traza de Pillai	,863	6,307b	1,000	1,000	,241

	Lambda de Wilks	,137	6,307b	1,000	1,000	,241
	Traza de Hotelling	6,307	6,307b	1,000	1,000	,241
	Raíz mayor de Roy	6,307	6,307b	1,000	1,000	,241

a. Diseño: Intersección + Año

b. Estadístico exacto

Cuando se realiza la prueba de los efectos inter-sujetos para este análisis de covarianza tomando como variable los tres años del estudio, en el modelo corregido se aprecia que existen diferencias significativas para todas las variables contrastadas.

Cuando se analizan las posibles fuentes de variación para los tres años del estudio, los valores registrados de energía insumida, energía producida y trabajo humano; nos indican que estas son las variables que marcan las diferencias significativas dentro del conjunto de variables para el tiempo analizado.

El trabajo humano entendido como familiar es una de las prácticas más importantes y características de la economía campesina y en este estudio se identifica claramente su aporte a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Por un lado, el trabajo familiar representa una solución inmediata para cubrir las actividades a ejecutar en los sistemas de producción, sin que para ello se dependa de la disponibilidad de dinero y trabajadores-as externos (escasos en la actualidad). De otro lado el trabajo familiar no representa un costo fijo sino variable para el sistema de producción, lo cual le permite flexibilizar sus costos ante eventualidades económicas, ambientales o sociales. El trabajo familiar también es una importante oportunidad de participación de todos los miembros del hogar sin distinción de género, edad o incluso estado de salud, por lo tanto, es inclusivo y da la oportunidad a todos de aportar a la economía familiar en la medida de sus capacidades (Chaparro, 2014).

Tabla 7. Prueba de efectos inter-sujetos

Pruebas de los efectos inter-sujetos						
Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	E insumida	88,578a	1	88,578	6,307	,024
	E producida	1809,974b	1	1809,974	5,549	,025
	T humano	6,007c	1	6,007	16,769	,015
	PAE	98,926d	1	98,926	5,549	,256

	PAP	224,762e	1	224,762	3,918	,298
	B energético	,913f	1	,913	18,036	,148
	I energética	,261g	1	,261	1,800	,408
	R productivo	67,617h	1	67,617	4,162	,290

De manera muy importante el trabajo familiar también es la práctica por la cual se transmiten conocimientos entre generaciones y géneros, es una forma de educar a los hijos-as desde el aprender haciendo y de aprovechar el conocimiento de los ancianos-as. También es la oportunidad de investigar, experimentar y desarrollar nuevas prácticas, en un laboratorio social y ambiental vivo y permanente, mientras los miembros del hogar se acercan entre ellos, con sus vecinos (en el trabajo comunitario) y se acercan al resto de la naturaleza para mantenerse como parte de ella y para desarrollar una racionalidad social y ambiental que les impida alienarse de su naturaleza biológica y de sus redes sociales.

En el análisis la energía insumida y producida también marcó diferencias con respecto al resto de las variables analizadas, en la medida que avanzamos en los años de investigación se fue ganando en desarrollar un sistema agrícola más integrado, eficiente y productivo.

Con la incorporación de especies de animales más eficientes desde el punto de vista del aprovechamiento de la energía en función del crecimiento y la producción de carne, leche, huevos u otros. Además, la producción animal jugó un importante papel debido al alto valor biológico de esta proteína. Por tanto, se sostuvo el criterio de “balancear” energéticamente los beneficios provenientes de la producción animal y vegetal con el fin de desarrollar sistemas agrícolas integrados, más eficientes y productivos, que respondan a las necesidades nutritivas, existenciales y funcionales del hombre bajo una concepción agroecológica de producción de alimentos, ya que según Funes-Monzote, 2009; esto es tan o más importante que contar con fuentes de energía renovable como con diseños integrados, diversificados y autosuficientes, que optimicen el uso de la energía disponible y, una vez capturada, hacer que esta circule a través del sistema. Podría decirse que el aspecto clave de los flujos energéticos en los agroecosistemas radica en la manera en que es utilizada la energía cultural para la conversión de la energía ecológica en biomasa.

El análisis de correlación arrojó que en el caso de la energía insumida, es decir, la que entra al sistema, como era de esperarse tiene una correlación total con la energía producida y con las

personas que alimenta la finca en términos energético, las personas que alimenta en términos de proteína y el balance energético.

Tabla 8. Análisis de Correlación de Pearson.

		Einsumida	Eproducida	Thumano	PAE	PAP	Benergetico	lenergetica
Einsumida	Correlación de Pearson	1	1,000*	-,990	1,000*	,996	,989	-,966
	Sig. (bilateral)		,014	,089	,014	,057	,094	,166
	N	3	3	3	3	3	3	3
Eproducida	Correlación de Pearson	1,000*	1	-,987	1,000**	,998*	,986	-,972
	Sig. (bilateral)	,014		,103	,000	,042	,108	,152
	N	3	3	3	3	3	3	3
Thumano	Correlación de Pearson	-,990	-,987	1	-,987	-,974	-1,000**	,921
	Sig. (bilateral)	,089	,103		,103	,145	,005	,255
	N	3	3	3	3	3	3	3
PAE	Correlación de Pearson	1,000*	1,000**	-,987	1	,998*	,986	-,972
	Sig. (bilateral)	,014	,000	,103		,042	,108	,152
	N	3	3	3	3	3	3	3
PAP	Correlación de Pearson	,996	,998*	-,974	,998*	1	,972	-,985
	Sig. (bilateral)	,057	,042	,145	,042		,151	,110
	N	3	3	3	3	3	3	3
Benergetico	Correlación de Pearson	,989	,986	-1,000**	,986	,972	1	-,917
	Sig. (bilateral)	,094	,108	,005	,108	,151		,261
	N	3	3	3	3	3	3	3
lenergetica	Correlación de Pearson	-,966	-,972	,921	-,972	-,985	-,917	1
	Sig. (bilateral)	,166	,152	,255	,152	,110	,261	
	N	3	3	3	3	3	3	3

Con relación a las variables, trabajo humano, energía insumida y energía producida; podemos decir que a medida que el sistema produce más energía disminuye el trabajo humano y la energía insumida.

Es significativo destacar que a medida que el sistema sea capaz de producir más energía en términos de productos de origen vegetal y animal, en esa misma medida debe de reducirse la intensidad energética con que funciona la finca objeto de estudio para los tres años analizados.

Un elemento clave de los sistemas agropecuarios sustentables para la producción de alimento y energía es la combinación entre diversidad, productividad y eficiencia energética. Con el cultivo biointensivo de alimentos (más alimentos en menos espacio), se ha logrado aumentar entre cuatro y ocho veces los rendimientos obtenidos por los agricultores que usan las técnicas agrícolas mecanizadas y químicas. Además, se ha reducido al menos a la mitad el consumo de agua y unas diez veces el de energía, al prescindir de abonos químicos, pesticidas y herbicidas.

Estudios realizados en Cuba durante los últimos diez años (Monzote et al., 2009) muestran que a mayor agrobiodiversidad: en cuanto a cultivos, ganadería y especies de árboles, como parte de los sistemas agrícolas integrados y multifuncionales, los sistemas agroecológicos que logran altos niveles de integración y reciclaje ganadería-agricultura, alcanzan mayor productividad y eficiencia.

Otros insumos de la producción con un importante peso en la dependencia energética de los sistemas de producción y con impactos negativos adicionales son los combustibles fósiles, empleados principalmente para el transporte, pero también para el funcionamiento de equipos de trabajo agrícola, así como los derivados del petróleo (incluido el plástico) empleados en el empaque de los productos y los biocidas (herbicidas, fungicidas, bactericidas, plaguicidas).

CONCLUSIONES

- La finca es eficiente energéticamente, incrementando paulatinamente la misma durante los tres años de investigación.
- El empleo de técnicas y tecnologías agroecológicas y sustentables en la finca, redujeron el trabajo humano y la energía insumida por la misma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri MA, (2015) Agroecología: Principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. Berkeley, California.
- Altieri MA. (2013) Construyendo resiliencia socioecológica en agroecosistemas: Algunas consideraciones conceptuales y metodológicas. En Agroecología y resiliencia socioecológica: adaptándose al cambio climático (Nicholls CI, Ríos LA, Altieri MA, eds). Proyecto REDAGRES. Medellín, Colombia, 94-104 pp.
- Ardila, C. (2015). Resilience and Peasant Economy. A study case form Anolaima, Colombia. Working Paper. Master's programme in Agroecology SLU-Alnarp.
- Chaparro, A. 2014. Sostenibilidad de los sistemas de producción campesina en el proceso mercados campesinos (Colombia). Tesis doctoral: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 265 p.
- CPP. (2014). Apoyo a la implementación del programa de acción nacional de lucha contra la desertificación y la sequía en Cuba. La Habana: Iré Production.
- Funes, Monzote et al. (2011) Evaluación inicial de sistemas integrados para la producción de alimentos y energía en Cuba. Pastos y Forrajes 44 (4): 445-462.
- Funes-Monzote, F. R., 2009a. Agroecología y diversidad. Comentario 6, Conferencia Electrónica Agrodesarrollo. EEPF Indio Hatuey, Matanzas.

- Funes-Monzote, F. R., López-Ridaura, S. & Tiftonell, P., 2009. Diversidad y eficiencia: Elementos clave de una agricultura ecológicamente intensiva. LEISA Revista de Agroecología, 25 (1), 12-14.
- García A, Nova A, Cruz BA (2014). Despegue del sector agropecuario: condición necesaria para el desarrollo de la economía cubana. En Economía Cubana: transformaciones y desafíos (CEES, ed.). La Habana: Ciencias Sociales, pp. 197-260.
- Infante, L. San Martín, Karina F (2017). Evaluando la resiliencia al cambio climático e identificación de prácticas y adaptaciones productivas desarrollados por pequeños agricultores de 4 macrozonas del centro sur de Chile.
- Malagón, S et al. (2019) Evolución de la transición agroecológica; estudio de caso finca "El Charrabascal" Provincia Pinar del Río, Cuba. Revista ECOVIDA Vol.9 No.1.3p.
- Nicholls, Clara. Altieri, Miguel A. Vázquez, Luis L (2015). Agroecología: principios para la conversión y el rediseño de sistemas agrícolas. Agroecología 10 (1): 61-72.
- Nicholls. C, Altieri. M (2017). Enfrentando el Cambio Climático: Estrategias Agroecológicas para la Agricultura Campesina. Agroecología y Cambio Climático. Universidad de California, Berkeley.
- Nova. A (2016). La agricultura en Cuba. Taller Nacional de Intercambio sobre agricultura sostenible. Varadero: Fundación Antonio Núñez Jiménez.
- Ríos, H., Vargas, D. & Funes-Monzote, F.R. (comps.), 2011. Innovación agroecológica, mitigación y adaptación al cambio climático. La Habana. 248 p.
- Rodríguez C. (2016). Bases metodológicas para la resiliencia socioecológica de fincas familiares en Cuba. UdeA: Universidad de Antioquia.
- Valdés, et al, 2012. Historia de la reforma agraria en Cuba. Editorial de Ciencias Sociales, La Habana. 206 p.
- Vázquez, L. Y. Aymerich, A. Díaz, A. Peña, R. Cobas, E. Álvarez, L. Rodríguez, C. L. García, J. A. Gómez, Y. Peña, E. Constante, Y. Savón, D. Wilson, N. Fonseca, J. M. Pérez, C. Fernández, R. Hernández, M. Rodríguez (2016). Resiliencia a sequía sobre bases agroecológicas. Sistematización de un proceso de coinnovación participativa. Provincia de Guantánamo, Cuba. Ed. OXFAM, Gobierno Belga, CITMA, ANAP. Guantánamo. 143p.

Vázquez, Luis L., Janet Alfonso, Yaril Matienzo, Ana Ibis Elizondo, Deisy González, Regla C. González, Antonio Enrique Joya, Delvis Subit, Elda Consuegra, Domingo A de León, 20. José Raúl Martínez, María Caridad Diéguez, Adriana Pérez, Sebero Aranda, Meybel Ríos. 2015. Vulnerabilidad a la sequía y prácticas adaptativas innovadas en territorios agrícolas de Cuba. *Revista agricultura Orgánica* 21 (3): 26-34.