

## **Evaluación inicial de sistemas integrados para la producción de alimentos y energía en Cuba**

### **Initial evaluation of integrated systems for food and energy production in Cuba**

F. R. Funes-Monzote<sup>1</sup>, G. J. Martín<sup>1</sup>, J. Suárez<sup>1</sup>, D. Blanco<sup>1</sup>, F. Reyes<sup>1</sup>, L. Cepero<sup>1</sup>, J. L. Rivero<sup>2</sup>, E. Rodríguez<sup>3</sup>, Valentina Savran<sup>4</sup>, Yadiris del Valle<sup>5</sup>, Marlenis Cala<sup>5</sup>, María del C. Vigil<sup>5</sup>, J. A. Sotolongo<sup>5</sup>, S. Boillat<sup>6</sup> y J. E. Sánchez<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", Central España Republicana CP 44280, Matanzas, Cuba. E-mail: mgahonam@enet.cu

<sup>2</sup> Estación Experimental de Pastos Las Tunas, Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes, Cuba

<sup>3</sup> Estación Experimental de Pastos Sancti Spíritus, Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes, Cuba

<sup>4</sup> Dirección Provincial de Planificación Física, Sancti Spíritus, Cuba

<sup>5</sup> Centro de Aplicaciones Tecnológicas para el Desarrollo Sostenible (CATEDES), Cuba

<sup>6</sup> Agencia de Cooperación Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE), Cuba

<sup>7</sup> Instituto de Cibernética, Matemática y Física (ICIMAF), Cuba

#### **Resumen**

La investigación tuvo el objetivo de definir una tipología de sistemas integrados de producción de alimentos y energía con enfoque agroecológico, en Cuba. Los resultados se basan en una evaluación preliminar del comportamiento de fincas integradas pertenecientes al proyecto internacional Biomas-Cuba. Se describe una metodología que puede servir como base para futuras evaluaciones de la relación diversidad-eficiencia energética-productividad, en la búsqueda de tipologías que sirvan para caracterizar, de la manera más precisa posible, dichos sistemas integrados. La metodología permitió la cuantificación del comportamiento de la diversidad, la eficiencia energética y la productividad de 25 sistemas de producción en diferentes estadios de conversión y distribuidos en la zona occidental, la central y la oriental de Cuba. Los indicadores evaluados (previamente validados en Cuba para este tipo de estudio) y el uso de métodos de cálculo empírico y estadística multivariada permitieron identificar y caracterizar tres tipos fundamentales de sistemas integrados, a los cuales se les denominó BIOMAS-1A, BIOMAS-1B y BIOMAS-1C. Los resultados de los indicadores, así como el análisis de las semejanzas y diferencias entre los diferentes tipos constituyen elementos a tener en cuenta para posteriores estudios en sistemas integrados de alimentos y energía con un mayor número de fincas.

Palabras clave: Bioenergía, diversificación, producción alimentaria

#### **Abstract**

The objective of the study was to define a typology of integrated food and energy production systems with agroecological approach, in Cuba. The results are based on a preliminary evaluation of the performance of integrated farms belonging to the international project Biomas-Cuba. A methodology is described which can be helpful as basis for future evaluations of the diversity-efficiency-energy-productivity relationship, in the search for typologies that can characterize, as accurately as possible, such integrated systems. The methodology allowed quantifying the performance of diversity, energy efficiency and productivity of 25 production systems in different conversion stages and distributed in the western, central and eastern regions of Cuba. The evaluated indicators (previously validated in Cuba for this type of study) and the use of empirical calculation and multivariate statistical methods allowed identifying and characterizing three main types of integrated systems, which were termed BIOMAS-1A, BIOMAS-1B and BIOMAS-1C. The results of the indicators, as well as the analysis of similarities and differences among the different types constitute elements to be taken into consideration for further studies on integrated food and energy systems with a higher number of farms.

Key words: Bioenergy, diversification, food production

## Introducción

El encarecimiento e inestabilidad de los precios de los combustibles fósiles, unido a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, ha motivado en los últimos años la búsqueda de alternativas energéticas para el desarrollo agrícola (Pimentel y Pimentel, 2008; Bogdanski *et al.*, 2010). En especial el empleo de energías renovables a partir de la biomasa, incluyendo los biocombustibles, busca solucionar los problemas ambientales y socioeconómicos de los sistemas alimentarios actuales. Estas alternativas se dirigen al aprovechamiento del potencial natural, insuficientemente explorado, de los agroecosistemas en la captura y transformación de las fuentes de energía ecológica por vías sostenibles. Para ello será necesario, en el futuro, establecer nuevos enfoques para el uso de fuentes renovables de energía a partir de la biomasa, que permitan incrementar la producción de alimento humano, preservar el medio ambiente y promover la inclusión social. En este escenario es una prioridad el diseño de sistemas agrícolas multifuncionales, que sean más resilientes y que fomenten la soberanía energética y tecnológica para alcanzar la soberanía alimentaria; esta combinación de factores, según Altieri (2009), conforma las tres soberanías de la agroecología.

Las plantas, como organismos fotoautotróficos, pueden hacer uso solo del 1% de la energía solar que incide sobre la superficie terrestre (Pimentel y Pimentel, 2008). Un caso especial son las plantas  $C_4$ , como el maíz (*Zea mays*), la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y el sorgo (*Sorghum bicolor*), entre otras, que poseen una mayor eficiencia fotosintética. Estas constituyen unas 7 600 especies (alrededor del 3% del total de las especies conocidas). La familia *Poaceae* en particular agrupa el 61% de las especies  $C_4$  (Zhu *et al.*, 2008). Estas son capaces de capturar hasta el 5% de la energía solar y logran fijar mayor cantidad de  $CO_2$  y convertirlo en compuestos orgánicos de cadenas carbonadas más largas. Por lo tanto, tienen potencial para producir grandes cantidades de energía por unidad de área

## Introduction

The increase and instability of prices of fossil fuels, together with the need to reduce greenhouse gas emissions, has motivated in recent years the search for energy alternatives for agricultural development (Pimentel and Pimentel, 2008; Bogdanski *et al.*, 2010). Especially, the use of renewable energy from biomass, including biofuels, attempts to solve environmental and socioeconomic problems of current food systems. These alternatives aim at utilizing the natural potential, insufficiently explored, of agroecosystems in the uptake and transformation of ecological energy sources by sustainable ways. For that purpose it would be necessary, in the future, to establish new approaches for the use of renewable energy sources from biomass, which allow increasing food production, preserving the environment and promoting social inclusion. In this scenario, the design of multifunctional agricultural systems, which are more resilient and promote energy and technology sovereignty to attain food sovereignty, is a priority; this combination of factors, according to Altieri (2009), makes up the three sovereignties of agroecology.

Plants, as photoautotroph organisms, can make use of only 1% of the solar energy that has incidence on the Earth surface (Pimentel and Pimentel, 2008). A special case is  $C_4$  plants, such as corn (*Zea mays*), sugarcane (*Saccharum officinarum*) and sorghum (*Sorghum bicolor*), among others, which have higher photosynthetic efficiency. They include about 7 600 species (around 3% of the total known species). Particularly, the *Poaceae* family encloses 61% of  $C_4$  species (Zhu *et al.*, 2008). They are capable of capturing up to 5% solar energy and fixing higher quantity of  $CO_2$  and turning it into longer-carbonated-chains organic compounds. Thus, they have potential to produce large energy quantities per cultivated area unit in a given time. Likewise, other  $C_3$  plants such as *Jatropha curcas*, *Moringa oleifera*, soybean (*Glycine max*) and sunflower (*Helianthus annuus*), among oil plants, are capable of producing high-energy products, such as food or feed and/or fuel.

cultivada en un tiempo dado. Igualmente, otras plantas  $C_3$  como la jatropha (*Jatropha curcas*), la moringa (*Moringa oleifera*), la soya (*Glycine max*) y el girasol (*Helianthus annuus*), entre las oleaginosas, son capaces de producir frutos de alto valor energético como alimento humano y animal, y/o combustible.

Los animales, como organismos heterotróficos, dependen de las plantas para sobrevivir; por tanto, los sistemas de producción animal son intrínsecamente menos eficientes que los de producción de cultivos, en la obtención de energía para la alimentación humana (Pimentel y Pimentel, 2008). Sin embargo, los animales desempeñan un papel clave en el manejo sostenible de los recursos naturales al cerrar ciclos ecológicos que garantizan un mejor uso de los nutrientes y la energía circulante en el sistema (Schiere *et al.*, 2002). El fortalecimiento de los mecanismos de integración ganadería/agricultura puede proveer oportunidades valiosas que facilitan la adaptación al cambio climático, el incremento de la productividad y la reducción de los costos energéticos de la producción de alimentos, entre otros beneficios socioeconómicos (Bogdanski *et al.*, 2010).

Esta investigación tuvo el objetivo de definir una tipología de sistemas integrados de producción de alimentos y energía con enfoque agroecológico, en Cuba, y se tomó como base analítica los estudios previos realizados por Funes-Monzote *et al.* (2009) sobre la relación entre la diversidad, la productividad y la eficiencia energética de la producción agroecológica. Los resultados se basan en una evaluación preliminar del comportamiento de fincas integradas pertenecientes al proyecto internacional Biomas-Cuba. Este proyecto ha sido ejecutado por la Estación Experimental "Indio Hatuey" y un grupo de instituciones cubanas entre los años 2008-2011. Su objetivo ha sido demostrar y comunicar, a través de experiencias piloto, qué alternativas tecnológicas locales para la generación de energía a partir de la biomasa son efectivas económica, social y ambientalmente para mejorar las condiciones de vida de las mujeres y los hombres en zonas rurales del país.

Animals, as heterotrophic organisms, depend on plants to survive; thus, animal production systems are intrinsically less efficient than crop production ones, in obtaining energy for human feeding (Pimentel and Pimentel, 2008). Nevertheless, animals play a key role in the sustainable management of human resources by closing ecological cycles which guarantee a better use of the nutrients and energy circulating in the system (Schiere *et al.*, 2002). The enhancement of livestock production/agriculture integration mechanisms can provide valuable opportunities to facilitate adaptation to the climate change, the increase of productivity and the reduction of energy costs of food production, among other socioeconomic benefits (Bogdanski *et al.*, 2010).

The objective of this study was to define a typology of integrated food and energy production systems with agroecological approach, in Cuba, and the previous studies conducted by Funes-Monzote *et al.* (2009) about the relation among diversity, productivity and energy efficiency of agroecological production were taken as analytical basis. The results are based on a preliminary evaluation of the performance of integrated farms belonging to the International project Biomas-Cuba. This project has been executed by the Experimental Station "Indio Hatuey" and a group of Cuban institutions between 2008 and 2011. Its objective has been to prove and communicate, through pilot experiences, what local technological alternatives for energy generation from biomass are economically, socially and environmentally effective to improve the living conditions of women and men in rural zones of the country.

Still in its initial stage, the study documented in this paper comprises an analysis of the results of 2009.

### Materials and Methods

A group of 25 productive systems (farms) were monitored among the 53 that participate in the project Biomas-Cuba and about which there is enough information for their characterization and analysis. The farms are located in the provinces: Matanzas (7), Sancti Spiritus (7), Las

Aún en su etapa inicial, el estudio que se documenta en este artículo comprende un análisis de los resultados del año 2009.

### Materiales y Métodos

Se monitoreó un grupo de 25 sistemas productivos (fincas) de los 53 que participan en el proyecto Biomás-Cuba y se cuenta con suficiente información para su caracterización y análisis. Las fincas se encuentran en las provincias de Matanzas (7), Sancti Spíritus (7), Las Tunas (6) y Guantánamo (5) (tabla 1). Ellas varían en cuanto a la forma de organización cooperativa, el tamaño y el diseño.

Tunas (6) and Guantánamo (5) (table 1). They vary regarding the form of cooperative organization, size and design.

Heterogeneity (among farms) and the different diversity levels of crop, animal and forestry species (in the farms) characterized the sampled productive systems. Each farm represents a special case which is not comparable to the others for its production purposes, market, relations, management characteristics, etc. In such sense, the limits and surface (area) of the system, the subsystems, main interactions, as well as the inputs and outputs were described in detail, according to the system analysis and

Tabla 1. Sistemas productivos evaluados.

Table 1. Evaluated productive systems.

Provincia	Municipio	Nombre de la finca	Área (ha)	Organización
Matanzas	Calimete	1. El Estabulado	42,0	CCS José Martí
	Cárdenas	2. Plácido	10,7	CCS José Machado
	Colón	3. La Quinta	33,0	CCS Antonio Maceo
	Jovellanos	4. La Arboleda	3,8	CCS Nicomedes Nodarse
	Jovellanos	5. Primavera	5,8	CCS Nicomedes Nodarse
	P. Betancourt	6. Santa Catalina	46,0	CCS Juan de Mata Reyes
	Perico	7. Cayo Piedra	40,0	CCS José Martí
Sancti Spíritus	Cabaiguán	8. Flor del Cayo	10,0	CCS Patria o Muerte
	Cabaiguán	9. San Manuel	13,4	CCS Alfredo López Brito
	S. Spíritus	10. La Bienvenida	2,5	CCS José Sosa Cañizares
	S. Spíritus	11. San José	8,4	CCS Bernardo Áreas Castillo
	S. Spíritus	12. La Caoba	5,0	CCS José Sosa Cañizares
	S. Spíritus	13. La Esperanza	10,3	CCS Heriberto Orellana
	Taguasco	14. Finca del Medio	11,0	CCS Reinaldo Reina
Las Tunas	Las Tunas	15. San J. Parnaso	7,4	CCS Niceto Pérez
	Las Tunas	16. Vaquería 17	134,2	UBPC Maniabo
	Las Tunas	17. Vaquería 12	80,0	UBPC Maniabo
	Las Tunas	18. Estación de Pastos	96,0	IIPF, MINAG
	Las Tunas	19. San José	13,0	CCS Niceto Pérez
	Las Tunas	20. Los Eduardos	10,0	CCS Josué País
Guantánamo	Guantánamo	21. El Salao de 4 caminos	9,5	CCS Lino de las M. Álvarez
	Guantánamo	22. La Esperanza	8,0	CCS Lino de las M. Álvarez
	Guantánamo	23. La Deseada	13,4	CCS Enrique Campos
	Guantánamo	24. Finca Biomás	30,0	Granja Paraguay
	Niceto Pérez	25. Villa Josefa	13,2	CCS Gabriel Valiente

La heterogeneidad (entre fincas) y los diferentes niveles de diversidad de especies de cultivos, animales y forestales (en las fincas) caracterizaron a los sistemas productivos muestreados. Cada finca representa un caso especial que no es comparable con el resto por sus propósitos de producción, relaciones de mercado, características de manejo, etc. En tal sentido se describieron detalladamente los límites y superficie (área) del sistema, los subsistemas, sus interacciones principales, así como las entradas y salidas, de acuerdo con los modelos de análisis y evaluación de sistemas propuestos por Spedding (1988) y Checkland (1999).

Los agricultores (y sus fincas) participantes en el estudio fueron escogidos por ser buenos innovadores en prácticas agroecológicas y estar sensibilizados con la búsqueda de alternativas más sostenibles para la producción agropecuaria. Una comunicación permanente entre ellos, los investigadores y técnicos participantes en el proyecto permitió la constante interacción, confianza y trabajo conjunto, que garantizó el diseño e implementación participativa de las innovaciones tecnológicas y el intercambio permanente de información durante el monitoreo. La recopilación de los datos para el período de un año (2009) estuvo a cargo de los agricultores y los técnicos de los comités operativos locales (COL) del proyecto Biomás-Cuba y los miembros de la dirección general, en visitas sistemáticas a los lugares.

Las fincas fueron caracterizadas en detalle para conocer su estructura y funcionamiento tanto como fuera posible en esta etapa inicial del estudio, que abarcará seis años (2009-2014), hasta el final de la segunda fase del proyecto Biomás-Cuba.

Para la colecta de la información se emplearon diferentes elementos de los enfoques participativos de investigación: diagnóstico rural rápido, métodos de investigación funcionales e interactivos y diagnóstico rural participativo, entre otros (McCracken *et al.*, 1988; Bellon, 2001). Posteriormente, con el propósito de simplificar la información y permitir una apreciación global

evaluation methods proposed by Spedding (1988) and Checkland (1999).

The farmers (and their farms) participating in the study were chosen as they are good innovators in agroecological practices and are sensitized with the search for more sustainable alternatives for livestock production. Permanent communication among them, the researchers and technicians who participate in the project allowed the constant interaction, trust and joint work, which guaranteed the design and participatory implementation of the technological innovations and the permanent information exchange during the monitoring. The data collection for a one-year period (2009) was in charge of the farmers and technicians of the local operational committees (LOC) of the project Biomás-Cuba and the members of the general management, in systematic visits to the sites.

The farms were characterized in detail to learn as much as possible about their structure and functioning in this initial stage of the study, which will comprise six years (2009-2014), until the end of the second stage of the project Biomás-Cuba.

For the information collection different elements were used of participatory research approaches: fast rural diagnosis, functional and interactive investigation methods and participatory rural diagnosis, among others (McCracken *et al.*, 1988; Bellon, 2001). Afterwards, in order to simplify the information and allow global appreciation of the available natural and physical resources in each farm, bioresource and infrastructure diagrams were elaborated, adapted from Lightfoot *et al.* (1998). They served as reference for the analysis of critical points at farm level (McCracken *et al.*, 1988). The diagrams, created together with the farmers, covered the system, subsystem levels and their biophysical components. There was information about field size, infrastructure of the agricultural system and its limits, agrobiodiversity components and production levels. All the information compiled in the diagrams attempted to improve communication among the researchers and the other shareholders involved in the study. The characterization of the



de los recursos naturales y físicos disponibles en cada finca, se elaboraron diagramas de biorrecursos e infraestructura, adaptados de Lightfoot *et al.* (1998). Ellos sirvieron como referencia para el análisis de los puntos críticos a nivel de finca (McCracken *et al.*, 1988). Los diagramas, creados junto con los agricultores, cubrieron los niveles de sistema, subsistema y sus componentes biofísicos. Se contó con la información sobre el tamaño del campo, la infraestructura del sistema agrícola y sus límites, los componentes de la agrobiodiversidad y los niveles de producción. Toda la información compilada en los diagramas procuró mejorar la comunicación entre los investigadores y los demás actores involucrados en el estudio. La caracterización de los sistemas agrícolas se basó en la información obtenida durante el diagnóstico participativo, incluyendo talleres, días de campo, construcción de escenarios y diagramas de biorrecursos y de infraestructura de la finca. Se tuvieron en cuenta también aspectos agroecológicos, económicos y sociales, a fin de lograr un adecuado análisis de sistema (Altieri, 1995; Checkland, 1999).

#### *Evaluación de los indicadores*

Los indicadores evaluados fueron: 1) riqueza de especies (Eq. 1); 2) diversidad de la producción (Eq. 2); 3) cantidad de personas que alimenta el sistema en energía (Eq. 3); 4) cantidad de personas que alimenta el sistema en proteína (Eq. 4); 5) índice de utilización de la tierra (Eq. 5); 6) balance energético (Eq. 6), y 7) costo energético de la producción de proteína (Eq. 7), según la metodología propuesta por Funes-Monzote (2009).

*Riqueza de especies (IM).* Se evaluó la riqueza de especies cultivadas del agroecosistema a través del Índice de Margalef (IM) (Magurran, 1988). Para el cálculo de este indicador se incluyeron las especies de cultivos, los árboles y los animales domésticos.

$$IM = \frac{S-1}{\ln(N)} \quad \text{Eq. 1}$$

agricultural systems was based on the information obtained during the participatory diagnosis, including workshops, field days, scenario construction and bioresource and infrastructure diagrams of the farm. Agroecological, economic and social aspects were also taken into consideration, in order to achieve an adequate system analysis (Altieri, 1995; Checkland, 1999).

#### *Evaluation of the indicators*

The evaluated indicators were: 1) species richness (Eq. 1); 2) production diversity (Eq. 2); 3) quantity of persons fed by the system in energy (Eq. 3); 4) quantity of persons fed by the system in protein (Eq. 4); 5) land use index (Eq. 5); 6) energy balance (Eq. 6) and 7) energy cost of protein production (Eq. 7), according to the methodology proposed by Funes-Monzote (2009).

*Species richness (MI).* The richness of cultivated species of the agroecosystem was evaluated through the Margalef Index (MI) (Magurran, 1988). For the calculation of this indicator crop, tree and domestic animal species were included.

$$IM = \frac{S-1}{\ln(N)} \quad \text{Eq. 1}$$

Where:  $S$  = total number of species;  $N$  = total number of individuals of all species (including animal, crop, fruit and forestry species).

*Production diversity ( $H_s$ ).* Production diversity was also calculated through the Shannon Index (Magurran, 1988), which includes the total production of each agricultural or livestock product and total production of the system.

$$H_s = -\sum_{i=1}^S \frac{p_i}{P} * \ln\left(\frac{p_i}{P}\right) \quad \text{Eq. 2}$$

Where:  $S$  = number of products;  $p_i$  = production of each product;  $P$  = total production.

*Quantity of persons fed by the system in energy (Pe) and protein (Pp).* Indicators related

Donde:  $S$  = número total de especies;  $N$  = número total de individuos de todas las especies (incluye animales, cultivos, frutales y forestales).

*Diversidad de la producción ( $H_s$ )*. También se evaluó la diversidad de la producción, a través del Índice de Shannon ( $H$ ) (Magurran, 1988), que incluye la producción total de cada producto agrícola o pecuario y la total del sistema.

$$H_s = -\sum_{i=1}^S \frac{p_i}{P} * \ln\left(\frac{p_i}{P}\right) \quad \text{Eq. 2}$$

Donde:  $S$  = número de productos;  $p_i$  = producción de cada producto;  $P$  = producción total.

*Cantidad de personas que alimenta el sistema en energía ( $P_e$ ) y proteína ( $P_p$ )*. También se evaluaron indicadores relativos a la productividad del sistema, como la cantidad de energía (GJ/ha/año) y proteína (kg/ha/año) producida y, en correspondencia, la cantidad de personas que podría sustentar el sistema de acuerdo con la demanda promedio de una persona por año, de tales nutrientes. Los contenidos de energía y proteína de productos de origen animal y vegetal para los cálculos fueron tomados de Gebhardt *et al.* (2007). Las equivalencias energéticas utilizadas para calcular los gastos en insumos directos e indirectos fueron las reportadas por García-Trujillo (1996). Los valores de consumo de energía y proteína por día recomendados para la población cubana fueron los descritos por Porrata *et al.* (1996).

Cantidad de personas que alimenta el sistema (energía):

$$P_e = \frac{\sum_{i=1}^S \frac{m_i * \frac{r_i}{100} * e_i}{A}}{R_e} \quad \text{Eq. 3}$$

Donde:  $S$  = número de productos;  $m_i$  = producción de cada producto (kg);  $r_i$  = porcentaje del peso de producto consumible;  $e_i$  = contenido energético de cada producto (MJ);  $A$  = área de

to the system productivity were also evaluated, such as the quantity of energy (GJ/ha/year) and protein (kg/ha/year) produced and, in correspondence, the quantity of persons the system could support according to the average demand of such nutrients, of one person per year. The energy and protein contents of animal and plant products for the calculations were taken from Gebhardt *et al.* (2007). The energy equivalences used to calculate the expenses in direct and indirect inputs were those reported by García-Trujillo (1996). The energy and protein intake values per day recommended for the Cuban population were the ones described by Porrata *et al.* (1996).

Quantity of persons fed by the system (energy):

$$P_e = \frac{\sum_{i=1}^S \frac{m_i * \frac{r_i}{100} * e_i}{A}}{R_e} \quad \text{Eq. 3}$$

Where:  $S$  = number of products;  $m_i$  = production of each product (kg);  $r_i$  = percentage of edible product weight;  $e_i$  = energy content of each product (MJ);  $A$  = area of the farm (ha);  $R_e$  = requirement of one person (MJ/year).

Quantity of persons fed by the system (protein):

$$P_p = \frac{\sum_{i=1}^S \frac{m_i * \frac{r_i}{100} * \frac{P_i}{100}}{A}}{R_p} \quad \text{Eq. 4}$$

Where  $S$  = number of products;  $m_i$  = production of each product (kg);  $r_i$  = percentage of edible product weight;  $p_i$  = protein content of each product (g/100 g);  $A$  = area of the farm (ha);  $R_p$  = requirement of one person (kg/year).

*Land use index (LUI)*. The land use index (LUI) was also evaluated, combined with the analysis of the polycrops used in the farm, using the following calculation method:

la finca (ha);  $R_e$  = requerimiento de una persona (MJ/año).

Cantidad de personas que alimenta el sistema (proteína):

$$P_p = \frac{\sum_{i=1}^S \frac{m_i * \frac{r_i}{100} * \frac{P_i}{100}}{A}}{R_p} \quad \text{Eq. 4}$$

Donde:  $S$  = número de productos;  $m_i$  = producción de cada producto (kg);  $r_i$  = porcentaje del peso de producto consumible;  $p_i$  = contenido proteico de cada producto (g/100 g);  $A$  = área de la finca (ha);  $R_p$  = requerimiento de una persona (kg/año).

*Índice de utilización de la tierra (IUT).* Además, se evaluó el índice de utilización de la tierra (IUT), combinado con el análisis de los policultivos empleados en la finca, empleando el siguiente método de cálculo:

$$IUT_s = \sum_{i=1}^S \frac{P_i}{M_i} \quad \text{Eq. 5}$$

Donde:  $S$  = número de productos;  $P_i$  = rendimiento del cultivo (kg) en policultivo;  $M_i$  = rendimiento del cultivo (kg) en monocultivo.

*Balance energético (BE):* Se realizó un balance energético anual, tomando en cuenta el costo energético que implicó producir la energía alimentaria.

$$BE = \frac{\sum_{i=1}^S m_i * e_i}{\sum_{j=1}^T I_j * f_j} \quad \text{Eq. 6}$$

Donde:  $S$  = 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

$$IUT_s = \sum_{i=1}^S \frac{P_i}{M_i} \quad \text{Eq. 5}$$

Where  $S$  = number of products;  $P_i$  = crop (i) yield in polycrop;  $M_i$  = crop (i) yield in monocrop.

*Energy balance (EB).* An annual energy balance was made, taking into consideration the energy cost implied by producing the food energy.

$$BE = \frac{\sum_{i=1}^S m_i * e_i}{\sum_{j=1}^T I_j * f_j} \quad \text{Eq. 6}$$

Where  $S$  = number of products;  $m$  = production of each product (kg);  $e$  = energy content of each product (MJ/kg);  $T$  = number of productive inputs;  $I$  = quantity of productive inputs (kg);  $f$  = energy required for the input production (MJ/kg).

*Energy cost of protein production (ECP).* The energy cost of the protein production (ECP) in the system was evaluated through the following formula:

$$CEP = \frac{\sum_{j=1}^T I_j * f_j}{\sum_{i=1}^S m_i * \frac{P_i}{100}} \quad \text{Eq. 7}$$

Where  $T$  = number of productive inputs;  $I$  = quantity of productive inputs (kg);  $f$  = energy required for the input production (MJ/kg);  $S$  = number of products;  $m$  = production of each product (kg);  $P_i$  = protein content of each product (%).

#### Analysis of the results

The farm was the experimental unit for the analysis. The best performance obtained for each indicator among all farms was pondered. The



insumos productivos (kg);  $f$  = energía requerida para la producción del insumo (MJ/kg).

*Costo energético de la producción de proteína (CEP)*: Se evaluó el costo energético de la producción de proteína (CEP) en el sistema a través de la siguiente fórmula:

$$CEP = \frac{\sum_{j=1}^T I_j * f_j}{\sum_{i=1}^S m_i * \frac{P_i}{100}} \quad \text{Eq. 7}$$

Donde:  $T$  = 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);  $P_i$  = contenido proteico de cada producto (%).

#### *Análisis de los resultados*

La finca fue la unidad experimental para el análisis. Se ponderó el mejor comportamiento obtenido para cada indicador entre todas las fincas. Los valores calculados se transformaron a una escala de 1-10 para obtener una distribución más normal. Si el indicador se pretende maximizar (ej. Pp), el valor del indicador se expresó como porcentaje del valor máximo (% = Valor/Max x 100). Si el indicador se pretende minimizar (ej. CEP), el valor del indicador se expresó como el inverso del porcentaje del mínimo valor (% = 1/(Valor/Mín) x 100). Los indicadores de biodiversidad (IM+H), de productividad (Pe+Pp) y de eficiencia (IUT+BE+CEP) se sumaron para obtener los valores respectivos de índice de biodiversidad (DIV), índice de productividad (PROD) e índice de eficiencia energética (EE), respectivamente. A continuación se ponderó el mejor comportamiento de cada índice entre todas las fincas. Los valores de los tres índices obtenidos para cada finca fueron sumados, transformados en una escala 1-100 y el valor resultante fue dividido por la suma del mejor valor de cada uno de los tres índices para obtener el valor del índice de diversidad-productividad-eficiencia (DPE). Se elaboró un orden de

calculated values were transformed to a 1-10 scale to obtain a more normal distribution. If the indicator is intended to be maximized (e.g. Pp), the indicator value was expressed as percentage of the maximum value (% = Value/Max x 100). If the indicator is intended to be minimized (e.g. ECP), the indicator value was expressed as the inverse of the minimum value percentage (% = 1/(Value/Min) x 100). The indicators of biodiversity (MI+H), productivity (Pe+Pp) and efficiency (LUI+EB+ECP) were added to obtain the respective values of Biodiversity Index (DIV), Productivity Index (PROD) and Energy Efficiency Index (EE), respectively. Then, the best performance of each index among all farms was pondered. The values of the three indexes obtained for each farm were added, transformed in a 1-100 scale and the resulting value was divided by the sum of the best value of each of the three indexes to obtain the value of the Diversity-Productivity-Efficiency Index (DPE). A ranking was elaborated of the farms, regarding the value of the DPE index, which allowed empirically defining the farm types with regards to their performance.

The validity of the results was tested through the statistical analysis of principal components (PCA), in order to identify how the selected indicators accounted for the performance of the evaluated farms. The null hypothesis ( $H_0$ ) corresponded to not finding any correlation significantly different from 0 among the evaluated variables, and the alternative hypothesis ( $H_a$ ) meant that at least one of the correlations among the variables was significantly different from 0. A discriminant analysis (DA) was made for the formation of groups that represented the farm types with different characteristics. The statistical pack XLSTAT version 2008.6.07 (XLSTAT, 2008) was used. The PCA was made from the matrix of correlations. For the graphic presentation of the results the biplot was used. The individuals' points were obtained from applying the transformation proposed by the principal component analysis to the original values of the observations. A supplementary datum built with the best values reached for every indicator was added to the results of the PCA.

las fincas en función del valor del índice DPE, que permitió definir empíricamente los tipos de finca en función de su comportamiento.

La validez de los resultados se comprobó a través del análisis estadístico de componentes principales (ACP), a fin de identificar de qué forma los indicadores seleccionados explicaron el comportamiento de las fincas evaluadas. La hipótesis nula ( $H_0$ ) correspondió a no encontrar ninguna correlación significativamente diferente de 0 entre las variables evaluadas, y la hipótesis alternativa ( $H_a$ ) significó que al menos una de las correlaciones entre las variables fue significativamente diferente de 0. Se realizó un análisis discriminante (AD) para la formación de grupos que representaran los tipos de fincas con características diferentes. Se empleó el paquete estadístico XLSTAT versión 2008.6.07 (XLSTAT, 2008). El ACP se realizó a partir de la matriz de correlaciones. Para la presentación gráfica de los resultados se utilizó el biplot. Los puntos de los individuos se obtuvieron a partir de aplicar la transformación propuesta por el análisis de componentes principales a los valores originales de las observaciones. A los resultados del ACP se les agregó un dato suplementario construido con los mejores valores alcanzados por cada indicador.

### Resultados y Discusión

La tabla 2 muestra el comportamiento de los siete indicadores en las 25 fincas seleccionadas. En sentido general se apreció una alta heterogeneidad en cuanto a los indicadores de diversidad, productividad y eficiencia, lo que impidió hacer un análisis lineal de los resultados. Las fincas con alta riqueza de especies ( $IM \geq 8$ ) o alta diversidad de la producción ( $H \geq 2$ ) no tuvieron, necesariamente, altos índices de productividad. Solo las fincas 7 y 8 tuvieron alta riqueza de especies y, a su vez, una alta productividad energética y proteínica en términos de personas que alimentaban por hectárea. Sin embargo, los niveles de productividad de la finca 8 estuvieron mayormente motivados por la alta importación de insumos externos, que redundó en un desfavorable comportamiento de los indicadores de

### Results and Discussion

Table 2 shows the performance of the seven indicators in the 25 selected farms. In general, high heterogeneity was observed regarding the indicators of diversity, productivity and efficiency, which prevented making a lineal analysis of the results. The farms with high species richness ( $MI \geq 8$ ) or high production diversity ( $H \geq 2$ ) did not necessarily have high productivity values. Only farms 7 and 8 had high species richness and, in turn, high energy and protein productivity in terms of persons that were fed per hectare. Yet, the productivity levels of farm 8 were highly motivated by the high import of external inputs, which caused an unfavorable performance of the energy efficiency indicators. On the other hand, farm 12, with high energy efficiency and the lowest protein production costs, achieved low productivity.

This reinforces the notion that the diversification of livestock production systems in itself is not a factor that determines a productivity increase, but rather the design of functional biodiversity in terms of the use of such resources as nutrients, water and energy, to achieve a green agriculture (Koochafkan *et al.*, 2011).

In spite of having similar characteristics in terms of diversified agroecological design, three farms of Matanzas province had contrasting values of the productivity and efficiency indicators (table 2). The medium-scale Cayo Piedra farm (diversified agricultural crop farm), achieved the highest productivity and efficiency values. Plácido (mainly destined to livestock production, but also diversified with crop, fruit trees and ornamental plants) showed moderate values. La Arboleda (diversified with livestock production, agriculture, but mostly dedicated to fruit production), with higher species richness, had lower productivity and efficiency levels.

A higher diversity did not necessarily result in higher productivity and efficiency, although it was an important component. La Arboleda had a lowest productivity in terms of energy and protein quantity per hectare, as it was mainly dedicated to the production of fruits, which are low in these nutrients and contribute little to the energy

Tabla 2. Comportamiento de los indicadores evaluados.

Table 2. Performance of the evaluated indicators.

Finca	Área (ha)	IM	H	Pe	Pp	IUT	BE	CEP
1. El Estabulado	42,0	4,7	1,9	10,7	3,4	0,9	0,4	231,7
2. Plácido	10,7	3,9	2,3	7,1	16,1	1,2	2,2	173,8
3. La Quinta	33,0	2,8	1,2	8,0	1,6	0,7	0,3	179,8
4. La Arboleda	3,8	11,3	2,0	3,4	3,8	1,3	1,0	151,5
5. Primavera	5,8	2,2	2,3	10,3	24,2	1,4	3,4	70,1
6. Santa Catalina	46,0	1,6	1,3	15,8	12,2	1,1	2,2	97,7
7. Cayo Piedra	40,0	4,1	<b>2,1</b>	<b>21,1</b>	12,5	1,8	11,2	27,3
8. Flor del Cayo	10,0	11,1	2,0	12,8	<b>38,4</b>	1,5	0,7	158,1
9. San Manuel	13,4	2,8	1,4	3,1	6,6	0,9	2,1	81,5
10. La Bienvenida	2,5	9,2	1,9	3,3	13,8	<b>2,0</b>	6,8	38,1
11. San José	8,4	<b>12,3</b>	1,8	8,9	16,3	1,7	1,6	44,2
12. La Caoba	4,0	6,5	2,0	2,1	6,9	1,4	20,0	<b>23,8</b>
13. La Esperanza	10,3	4,2	1,8	14,8	37,3	1,8	4,1	186,2
14. Finca del Medio	11,0	8,3	2,4	11,1	17,0	1,4	<b>30,0</b>	58,4
15. San J. Parnaso	7,4	3,5	1,7	9,7	21,7	1,1	0,3	60,4
16. Vaquería 17	134,2	1,4	0,4	1,6	2,1	0,5	0,7	146,7
17. Vaquería 12	80,0	1,5	0,5	1,4	2,8	0,5	0,6	175,6
18. Estación de Pastos	96,0	6,5	2,0	6,4	6,1	1,1	6,0	56,3
19. San José	13,0	10,1	1,7	3,3	7,4	1,2	6,9	42,1
20. Los Eduardos	10,0	2,5	1,8	2,3	4,3	0,8	2,5	59,1
21. El Salao de 4 caminos	9,5	2,3	0,5	0,7	1,8	0,3	0,8	26,1
22. La Esperanza	8,0	2,0	0,8	0,3	1,7	0,9	0,3	49,8
23. La Deseada	13,4	2,1	0,7	0,9	3,4	0,8	1,1	43,6
24. Finca BIOMAS	30,0	2,4	0,4	2,3	3,4	0,4	0,7	82,4
25. Villa Josefa	13,2	3,2	1,7	4,6	7,5	1,1	2,4	68,7

Nota: Los valores en negritas corresponden al mejor comportamiento de una finca para cada indicador.

eficiencia energética. Por otro lado, la finca 12, con alta eficiencia energética y los costos más bajos de producción de proteína, logró una baja productividad.

Esto refuerza la noción de que la diversificación de los sistemas agropecuarios en sí misma no es un factor que determina un incremento de la productividad, sino el diseño de la biodiversidad funcional en términos de la utilización de recursos como los nutrientes, el agua y la energía, para lograr una agricultura verde (Koochafkan *et al.*, 2011).

A pesar de tener características similares en términos de diseño agroecológico diversificado, tres fincas en la provincia Matanzas tuvieron valores contrastantes de los indicadores de productividad y eficiencia (tabla 2). La finca Cayo Piedra (agrícola diversificada de cultivos) a mediana escala, logró los niveles más altos de productividad y eficiencia. Plácido (mayormenten-

balance (tabla 2). The low energy efficiency of this farm is also ascribed to the high intensity of labor and to the fact that it is dedicated to other activities such as craftsmanship, which increases the family income. The diversity indicators are closely related not only to the number of individuals, but also to the equity among them, from the presence of the species and its relative abundance (Magurran, 1998). That is why La Arboleda, although having almost three times as much species richness as Cayo Piedra and Jesús María, reached production diversity similar to them (table 2).

La Caoba farm achieved the lowest energy cost of protein production (ECP) and the second highest value of energy efficiency (EB); however, its productivity was low, which would not be desirable in principle (table 2). The objective of agricultural biointensive systems, which try to maximize the use of renewable energy sources

te destinada a la producción pecuaria, pero también diversificada con cultivos, frutales y ornamentales), tuvo niveles medios. La Arboleda (diversificada con ganadería, agricultura, pero mayormente dedicada a frutales), con mayor riqueza de especies, presentó niveles más bajos de productividad y eficiencia.

Una mayor diversidad no necesariamente repercutió en una mayor productividad y eficiencia, aunque fue un componente importante. La Arboleda tuvo una menor productividad en términos de cantidad de energía y proteína por hectárea, por dedicarse mayormente a la producción de frutales, que son bajos en estos nutrientes y aportan poco al balance energético (tabla 2). La baja eficiencia energética de esta finca también se atribuye a la alta intensidad de fuerza de trabajo y a que se dedica a otras actividades como la artesanía, que incrementa el ingreso familiar. Los indicadores de diversidad están muy relacionados no solo con el número de individuos, sino con la equidad entre ellos, a partir de la presencia de la especie y su abundancia relativa (Magurran, 1998). Por eso es que La Arboleda, a pesar de poseer una riqueza de especies de casi el triple, alcanzó una diversidad de la producción similar que Cayo Piedra y Jesús María (tabla 2).

La finca La Caoba logró el menor costo energético de la producción de proteína (CEP) y el segundo valor más alto de eficiencia energética (BE); sin embargo, su productividad fue baja, lo cual en principio no sería deseable (tabla 2). El objetivo de los sistemas biointensivos de agricultura, que tratan de maximizar el uso de las fuentes renovables de energía para lograr un incremento de la productividad, debería lograr una alta productividad equiparable a una alta eficiencia en el uso de la energía. El nivel de integración del sistema es un factor importante para lograr este objetivo (Funes-Monzote *et al.*, 2009); sin embargo, una productividad media o baja puede ser también el resultado de los sistemas de manejo de intensidad baja o media con objetivos conservacionistas. Por otra parte, la finca La Caoba en particular tiene un importante componente forestal que, lógicamente, no se reflejó en

to attain a productivity increase, should achieve high productivity equivalent to high efficiency in the use of energy. The system integration level is an important factor to fulfill this objective (Funes-Monzote *et al.*, 2009); nevertheless, moderate or low productivity can also be the result of low or moderate intensity management systems with conservationist objectives. Conversely, La Caoba farm, in particular, has an important forestry component which, logically, was not reflected in terms of productivity with regards to the quantity of persons fed by the system.

The least productive farms and the ones with less production diversity were the ones from Guantánamo, which were establishing the integrated systems of *J. curcas* with crops and two from Las Tunas province (farms 16 and 17), which corresponded to dairy units with low management level. These contrasting results, calculated through the productivity, diversity and efficiency indexes (table 3) required a more integrating analysis to arrive at conclusions about their later development. Empirically, no farm (table 2) reached the best values in more than one indicator (values highlighted in boldface), which led to identify the best average performance of each, taking into consideration the grouping of the biodiversity, productivity and efficiency indexes. Thus, the farms that had a better performance of these indexes and a general index named DPE (diversity, productivity and efficiency) were preselected, which allowed grouping the farms into typologies, with the average performance of the group and a farm prototype that better defined the characteristics of each farm. For example, Cayo Piedra was the prototype farm that could best define the characteristics of the type BIOMAS-1A with the available data, and thus successively for the prototypes Plácido or La Quinta (table 3).

When calculating and ranking the farms according to their performance, the smallest ones (except Cayo Piedra) were found to achieve the best diversity, productivity and efficiency indexes and, thus, the highest DPE values, although this is not always true when the stage of the conversion process is also analyzed (table 3). This



términos de productividad respecto a la cantidad de personas que alimentó el sistema.

Las fincas menos productivas y con menos diversidad de producción fueron las de Guantánamo, las que estaban en establecimiento de los sistemas integrados de *J. curcas* con cultivos, y dos de la provincia Las Tunas (fincas 16 y 17) que correspondieron a vaquerías con un bajo nivel de manejo. Estos resultados tan contrastantes, calculados a través de los índices de productividad, diversidad y eficiencia (tabla 3), requirieron de un análisis más integrador para llegar a conclusiones sobre su posterior desarrollo. Empíricamente ninguna finca (tabla 2) alcanzó los mejores valores en más de un indicador (valores resaltados en negritas), lo cual conllevó a identificar cuál fue el mejor comportamiento promedio de cada una, teniendo en cuenta la agrupación de los índices de biodiversidad, productividad y eficiencia. De esa forma fueron preseleccionadas las fincas que tuvieron un mejor comportamiento de estos índices y un índice general denominado DPE (diversidad, productividad y eficiencia), lo cual permitió agrupar las fincas en tipologías, con el comportamiento promedio del grupo y un prototipo de finca que definió en mejor medida las características de cada una de ellas. Por ejemplo, Cayo Piedra fue la finca prototipo que mejor podría definir las características del tipo BIOMAS-1A con los datos disponibles, y así sucesivamente para el prototipo Plácido o La Quinta (tabla 3).

confirms the results obtained by Funes-Monzote *et al.* (2009), and in turn opens new questions about which would be the best strategies to implement highly diverse livestock production systems at larger scales.

#### *Principal component analysis*

The first principal component (F1) accounted for 49,5% of the variability, while the second, F2, 20,4%, resulting in 69,9%, which was considered sufficient to explain the performance of the evaluated variables (fig. 1). The PCA showed the high heterogeneity of the farms and their contrasting differences regarding the diversity, productivity and efficiency indicators. This result confirmed the need to group farm types in order to arrive at an approximation of the agroecological potentials and the satisfaction level of that potential in the studied sample. This also led to incorporate, as part of the analysis, a target agroecological system (No. 26), formed by the best value of each indicator reached among all the farms (fig. 1).

All the indicators (except ECP) explained the variability in the performance of the farms, which indicated that they were important in their differentiation. Such contrasting results of the calculated values for the ECP, mainly due to the technological heterogeneity (use of energy inputs) are seemingly the result of such performance. Among the variables that accounted for the differences of the farms with

Tabla 3. Comportamiento promedio de los tipos de fincas basado en el índice DPE.

Table 3. Average performance of the farm types based on the DPE index.

Prototipo de finca	Índice DIV	Índice PROD	Índice EE	Índice DPE	Desv. est. DPE media
BIOMAS-1A	14,38	10,97	16,35	74,20	9,65
Prototipo: Cayo Piedra	12,05	13,25	21,21	83,85	-
BIOMAS-1B	12,17	6,17	9,35	49,94	6,10
Prototipo: Plácido	12,81	7,56	7,88	50,92	-
BIOMAS-1C	5,29	1,89	7,25	26,03	7,73
Prototipo: La Quinta	7,28	4,24	5,02	29,81	-

Leyenda: BIOMAS 1A (fincas 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14 y 19), con un índice DPE  $\geq 60$ ; BIOMAS 1B (fincas 1, 2, 4, 6, 15, 18 y 25), con un DPE entre 40 y 60; BIOMAS 1C (fincas 3, 9, 16, 17, 20, 21, 22, 23 y 24) con un DPE  $\leq 40$ .



Al calcular y ordenar las fincas de acuerdo con su comportamiento, se encontró que las más pequeñas (excepto Cayo Piedra) lograron mejores índices de diversidad, productividad y eficiencia, y por tanto, los valores más altos de DPE, aunque esto no es siempre cierto cuando se analiza también el estadio del proceso de conversión (tabla 3). Ello confirma los resultados de Funes-Monzote *et al.* (2009) y, a su vez, abre nuevas interrogantes sobre cuáles serían las mejores estrategias para implementar sistemas agropecuarios altamente diversos a escalas mayores.

#### *Análisis de componentes principales*

La primera componente principal (F1) explicó el 49,5% de la variabilidad, mientras que la segunda, F2, el 20,4%, lo que resultó en 69,9%, que se consideró suficiente para explicar el comportamiento de las variables evaluadas (fig. 1). El ACP mostró la alta heterogeneidad de las fincas y sus diferencias contrastantes en función de los indicadores de diversidad, productividad y eficiencia. Este resultado confirmó la necesidad de agrupar tipos de fincas para llegar a una aproximación de los potenciales agroecológicos

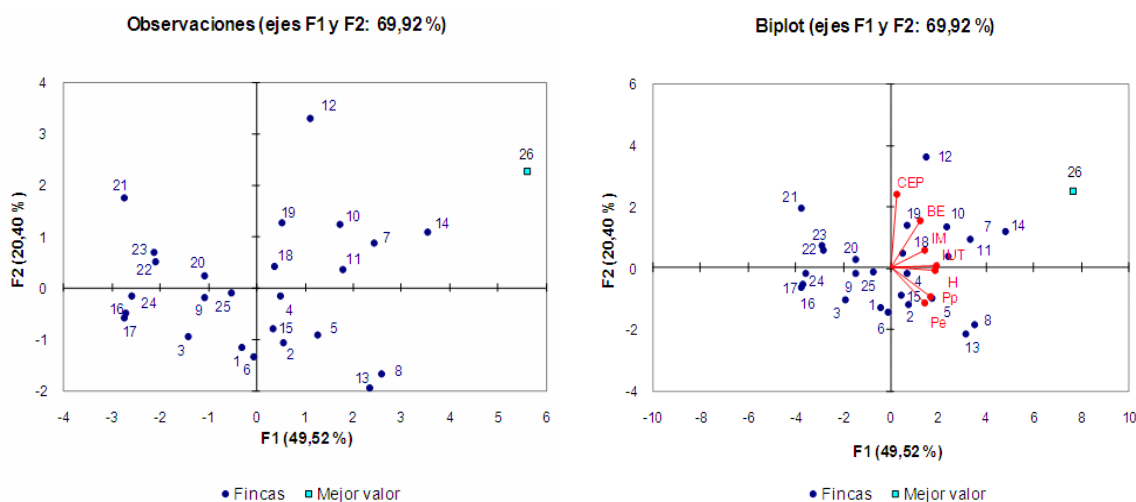
regards to F1, LUI and  $H_s$  stood out, which leads to state that, at least in the evaluated sample, there was a strong link among the diversity, productivity and efficiency indicators (fig. 1).

#### *Discriminant analysis*

The reclassification of the farms by using a discriminant analysis proved that they were all adequately classified empirically, with the exception of number 25 (Villa Josefa), which had been classified as BIOMAS-1B and instead it belonged to BIOMAS-1C, for 96% of effectiveness (fig. 2). A total of 92,6% of the variability was explained through F1, which was sufficient to express the variability of all the evaluated indicators. This indicated that the formed types responded to common characteristics among the groups according to the indicators and, besides, that it made sense to grant high relevance to the interaction among diversity, productivity and efficiency, known as DPE index.

#### *Characterization of the identified farm types*

BIOMAS-1A (strong food and energy integration). The farms comprised in this type



Leyenda: riqueza de especies (IM), diversidad de la producción (Hs), cantidad de personas que alimenta el sistema en energía (Pe), cantidad de personas que alimenta el sistema en proteína (Pp), índice de utilización de la tierra (IUT), balance energético (BE) y costo energético de la producción de proteína (CEP).

Figura 1. Análisis de componentes principales.

Figure 1. Principal component analysis.

y el nivel de satisfacción de ese potencial en la muestra estudiada. Esto condujo también a incorporar, como parte del análisis, un sistema agroecológico objetivo (No. 26), formado por el mejor valor de cada indicador alcanzado entre todas las fincas (fig. 1).

Todos los indicadores (excepto CEP) explicaron la variabilidad en el comportamiento de las fincas, lo cual indicó que eran importantes en su diferenciación. Los resultados tan contrastantes de los valores calculados para CEP, debido fundamentalmente a la heterogeneidad tecnológica (empleo de insumos energéticos), parecen ser el resultado de tal comportamiento. Entre las variables que explicaron las diferencias de las fincas respecto a F1 se destacaron IUT y  $H_s$ , lo que conduce a afirmar que, al menos en la muestra evaluada, existió un fuerte vínculo entre los indicadores de diversidad, productividad y eficiencia (fig. 1).

#### *Análisis discriminante*

La reclasificación de las fincas al emplear un análisis discriminante mostró que todas fueron adecuadamente clasificadas de manera empírica, con excepción de la 25 (Villa Josefa), que se clasificó como tipo BIOMAS-1B y en cambio correspondía al tipo BIOMAS-1C, para un 96% de efectividad (fig. 2). El 92,6% de la variabilidad se explicó a través de F1, lo que resultó suficiente para expresar la de todos los indicadores evaluados. Esto indicó que los tipos formados respondieron a características comunes entre los grupos según los indicadores y, además, que tuvo sentido otorgar una alta relevancia a la interacción entre diversidad, productividad y eficiencia, denominado como índice DPE.

#### *Caracterización de los tipos de fincas identificados*

BIOMAS-1A (fuerte integración de alimentos y energía). Las fincas comprendidas en este tipo tuvieron fuertes correlaciones entre la diversidad de especies de plantas cultivadas y/o animales, alta eficiencia energética y alta productividad, en términos de cantidad de alimentos producidos por unidad de área dedicada a culti-

had strong correlations among diversity of cultivated plant and/or animal species, high energy efficiency and high productivity, in terms of amount of food produced per area unit dedicated to crops or animal production. They are generally small-scale productive systems ( $\leq 15$  ha) and have vast traditional knowledge about animal rearing and local crops. They have high production stability, autonomy in the use of resources and are resilient before the effect of external factors. With little investment their energy food production potential could be increased, by incorporating new technologies for a more efficient use of the available biomass.

BIOMAS-1B (in the process of increasing food and energy integration). This type is characterized by having considerable advances in the diversification of the productive system. In many cases they achieve high energy efficiency, but with low productivity and vice-versa. Although they have knowledge in the management of natural resources, they still require higher efforts in the integrated design of the productive system. For such reason the input availability cannot be conjugated to the established functional diversity and the increase of the efficiency and productivity indicators. With financial support in technology and some design changes, they can remarkably improve their performance and be considered as systems BIOMAS-1A.

BIOMAS-1C (initial stages of the food-energy integration). The farms included in this type are starting the integration process of the food system and show a strong energy unbalance. It may happen that a farm belonging to this group has considerable energy sources of industrial origin (diesel, machinery, irrigation, chemical products) or abundant energy of biological origin (manure, biomass, labor), but inefficient use is made of these resources. Those that are starting an integration process or in the establishment stage of oil crops or biodigester installation, but in turn have low diversity and productivity, are included in this farm type. In general, to achieve integration in these systems a strong training component and higher financial

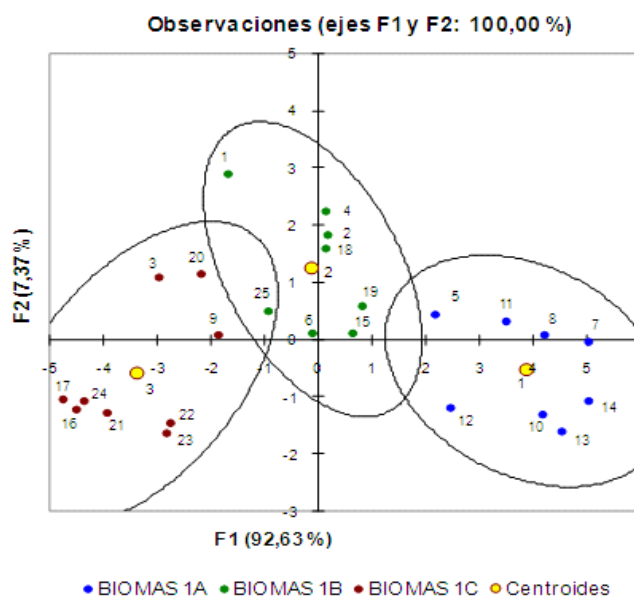


Figura 2. Análisis discriminante. Las fincas agrupadas a la derecha corresponden al tipo BIOMAS-1A; las situadas al centro, a BIOMAS-1B; y aquellas situadas a la izquierda, a BIOMAS-1C.

Figure 2. Discriminant analysis. The farms grouped on the right correspond to the type BIOMAS-1A; the ones on the center, BIOMAS-1B; and those on the left, BIOMAS-1C.

vos o a producción animal. Son sistemas productivos generalmente de pequeña escala ( $\leq 15$  ha) y disponen de amplios conocimientos tradicionales sobre crianza animal y cultivos locales. Tienen alta estabilidad de la producción, autonomía en el uso de los recursos y son resilientes al efecto de los factores externos. Con poca inversión se podría aún incrementar su potencial energético y de producción de alimentos, al incorporarse nuevas tecnologías para el uso más eficiente de la biomasa disponible.

BIOMAS-1B (en vías de incrementar la integración de alimentos y energía). Este tipo se caracteriza por tener considerables avances en la diversificación del sistema productivo. En muchos casos logran una alta eficiencia energética, pero con baja productividad y viceversa. Aunque cuenta con conocimiento en el manejo de los recursos naturales, aún requiere mayores esfuerzos en el diseño integrado del sistema productivo. Por este motivo es que no se logra con-

support will be required, although their poor performance can also be given by the waste of wrongly used natural and financial resources. Moving up to type BIOMAS-1B will require conscious work, between two and three years.

### Conclusions

A clear differentiation was found among the three types with regards to the DPE index which explains the interactions among the diversity, productivity and efficiency indicators. The implementation of technologies for the use of renewable energies from the biomass, such as biogas, biofuels and gasification, as well as other sources (windmills, hydraulic rams, solar panels, etc.) is expected to be evaluated at long term and to contribute to the increase of productive levels through a more efficient use of the available energy and the design of biodiverse farms. These results could serve as reference for further studies in the future. For the next years the following is recommended:

jugar la disponibilidad de insumos con la diversidad funcional establecida y el incremento de los indicadores de eficiencia y productividad. Con apoyo financiero en tecnología y algunos cambios de diseño puede mejorar considerablemente su comportamiento y pasar a ser considerado como sistema BIOMAS-1A.

BIOMAS-1C (estadios iniciales de la integración alimento-energía). Las fincas que componen este tipo se encuentran iniciando el proceso de integración del sistema alimentario y presentan un fuerte desbalance energético. Puede darse el caso de que una finca perteneciente a este grupo disponga de considerables fuentes energéticas de origen industrial (diesel, maquinaria, irrigación, productos químicos) o abundante energía de origen biológico (estiércol, biomasa, fuerza de trabajo), pero que haga un uso ineficiente de estos recursos. Se incluye en este tipo de fincas también aquellas que se inician en un proceso de integración o que se encuentran en la etapa de establecimiento de cultivos oleaginosos o instalación de biodigestores, pero que a la vez tienen baja diversidad y productividad. Por lo general, para lograr la integración en estos sistemas se requerirá un fuerte componente de capacitación y mayor apoyo financiero, aunque también su pobre comportamiento puede estar dado por el derroche de recursos naturales y financieros mal empleados. Pasar al tipo BIOMAS-1B requerirá de un trabajo consciente, entre dos y tres años.

### Conclusiones

Se encontró una clara diferenciación entre los tres tipos en función del índice DPE que explica las interacciones entre los indicadores de diversidad, productividad y eficiencia. Se espera que la implementación de tecnologías para el empleo de energías renovables a partir de la biomasa, como el biogás, los biocombustibles y la gasificación, así como otras fuentes (molinos de viento, arietes hidráulicos, paneles solares, etc.), sea evaluada en el largo plazo y contribuya al incremento de los niveles productivos a través de un uso más eficiente de la energía disponible y el diseño de fincas biodiversas. Estos resulta-

- Increasing synergies with other projects that allow increasing the sample size (including conventional specialized productive systems).
- Validating the evaluated typology through the use of multivariate statistical methods which incorporate the diversity, productivity and energy efficiency indicators, linked to biophysical, technological, management and socioeconomic factors.
- Conducting a temporary evaluation, during six years (2009-2014), of the food and energy production systems.
- Evaluating the integration potential with regards to the possible food and energy combinations to be applied to the prevailing agricultural systems in the country, aiming at making recommendations which could be extrapolated to systems at all scales (cooperative, municipality) and complexity levels.

### Acknowledgements

The authors thank the Swiss Development Cooperation Agency (SDC), the Cuban institutions that participate in project Biomass-Cuba and the farmers involved in the project, for their valuable contributions to this study.

*--End of the English version--*

dos podrían servir como referencia para estudios más amplios en el futuro. Para los próximos años se recomienda:

- Ampliar sinergias con otros proyectos que permitan incrementar el tamaño de la muestra (incluyendo los sistemas productivos especializados convencionales).
- Validar la tipología evaluada a través del uso de métodos estadísticos multivariados que incorporen los indicadores de diversidad, productividad y eficiencia energética, vinculados a factores biofísicos, tecnológicos, de manejo y socioeconómicos.
- Realizar una evaluación temporal, durante seis años (2009-2014), de los sistemas de producción de alimento y energía.

- Evaluar el potencial de integración en función de las posibles combinaciones de alimento y energía para ser aplicado a los sistemas agrícolas predominantes en el país, con el objetivo de hacer recomendaciones extrapolables a sistemas de todas las escalas (cooperativa, municipio) y niveles de complejidad.

### Reconocimientos

Agradecemos a la Agencia Suiza de Cooperación para el Desarrollo (COSUDE), a las instituciones cubanas participantes en el proyecto Biomasa-Cuba y a los agricultores involucrados en el proyecto, por sus valiosas contribuciones a este estudio.

### Referencias bibliográficas

- Altieri, M.A. 1995. Agroecology: The science of sustainable agriculture. Westview Press, Boulder CO.
- Altieri, M.A. 2009. La paradoja de la agricultura cubana. Reflexiones agroecológicas basadas en una visita reciente a Cuba. [http://www.ecoport.net/Temas\\_Especiales/Desarrollo\\_Sustentable/la\\_paradoja\\_de\\_la\\_agricultura\\_cubana\\_reflexiones\\_agroecologicas\\_basadas\\_en\\_una\\_visita\\_reciente\\_a\\_cuba](http://www.ecoport.net/Temas_Especiales/Desarrollo_Sustentable/la_paradoja_de_la_agricultura_cubana_reflexiones_agroecologicas_basadas_en_una_visita_reciente_a_cuba) [Consulta: 12 de julio 2008].
- Bellon, M.R. 2001. Participatory research methods for technology evaluation: A manual for scientists working with farmers. CIMMYT, Mexico, D.F. 93 p.
- Bogdanski, A. *et al.* 2010. Making integrated food-energy systems work for people and climate. An overview. FAO, Roma. 136 p.
- Checkland, P. 1999. Systems thinking, systems practice: with a 30-year retrospective. John Wiley & Sons. Chichester, United Kingdom.
- Funes-Monzote, F.R. 2009. Agricultura con futuro. La alternativa agroecológica para Cuba. EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. 196 p.
- Funes-Monzote, F.R. *et al.* 2009. Agro-ecological indicators (AEIs) for dairy and mixed farming systems classification: Identifying alternatives for the Cuban livestock sector. *Journal of Sustainable Agriculture*. 33 (4):435
- García Trujillo, R. 1996. Los animales en los sistemas agroecológicos. ACAO. La Habana, Cuba. 100 p.
- Gebhardt, S.E. *et al.* 2007. USDA National Nutrient Database for standard reference, release 20. <http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=17476>. [Consulta: 20 de agosto 2010]
- Koohafkan, P. *et al.* 2011. Green agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. *International Journal of Agricultural Sustainability*. 8:1
- Lightfoot, C. *et al.* 1998. Systems diagrams to help farmers decide in on-farm research. In: Farmers first: Farmer innovation and agricultural research. (Eds. R. Chambers, A. Pacey and L.A. Thrupp). Intermediate Technology Publications. London, United Kingdom. p. 93
- Magurran, A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press. New Jersey, USA. 179 p.
- McCracken, J.A. *et al.* 1988. An introduction to rapid rural appraisal for agricultural development. International Institute for Environment and Development. London, United Kingdom. 120 p.
- Pimentel, D. & Pimentel, M.H. 2008. Food, energy and society. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 368 p.
- Porrata, C. *et al.* 1996. Recomendaciones nutricionales y guías de alimentación para la población cubana. INHA. La Habana, Cuba. 40 p.
- Schiere, J.B. *et al.* 2002. The role of livestock for sustainability in mixed farming: criteria and scenario studies under varying resource allocation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 90:139
- Spedding, C.R.W. 1988. An introduction to agricultural systems. 2nd ed. Elsevier Applied Science. Amsterdam, Netherlands. 189 p.
- XLSTAT. 2008. XLSTAT Software. Version 2008. 6.07, Copyright Addinsoft 1995-2008. <http://www.xlstat.com>
- Zhu, X.G. *et al.* 2008. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? *Current Opinion in Biotechnology*. 19 (2):153

Recibido el 7 de septiembre del 2011

Aceptado el 31 de octubre del 2011