



Pastos y Forrajes

ISSN: 0864-0394

marta@indio.atenas.inf.cu

Estación Experimental de Pastos y Forrajes

"Indio Hatuey"

Cuba

Suárez, J.; Martín, G. J.; Sotolongo, J. A.; Rodríguez, E.; Savran, Valentina; Cepero, L.; Funes-Monzote, F.; Rivero, J. L.; Blanco, D.; Machado, R.; Martín, C.; García, A.  
Experiencias del proyecto BIOMAS-CUBA. Alternativas energéticas a partir de la biomasa en el medio rural cubano  
Pastos y Forrajes, vol. 34, núm. 4, octubre-diciembre, 2011, pp. 473-496  
Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"  
Matanzas, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269121519007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## **Experiencias del proyecto BIOMAS-CUBA. Alternativas energéticas a partir de la biomasa en el medio rural cubano**

### **Experiences of the BIOMAS-CUBA Project. Energy alternatives from biomass in Cuban rural areas**

J. Suárez<sup>1</sup>, G. J. Martín<sup>1</sup>, J. A. Sotolongo<sup>2</sup>, E. Rodríguez<sup>3</sup>, Valentina Savran<sup>4</sup>, L. Cepero<sup>1</sup>, F. Funes-Monzote<sup>1</sup>, J. L. Rivero<sup>5</sup>, D. Blanco<sup>1</sup>, R. Machado<sup>1</sup>, C. Martín<sup>6</sup> y A. García<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"  
Central España Republicana CP 44280, Matanzas, Cuba  
E-mail: [jesus.suarez@indio.atenas.inf.cu](mailto:jesus.suarez@indio.atenas.inf.cu)

<sup>2</sup> Centro de Aplicaciones Tecnológicas para el Desarrollo Sostenible, Guantánamo, Cuba

<sup>3</sup> Estación de Pastos de Sancti Spíritus, Cuba

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

<sup>5</sup> Estación de Pastos de Las Tunas, Cuba

<sup>6</sup> Grupo de Tecnología de Biorrecursos, Universidad de Matanzas, Cuba

#### **Resumen**

El artículo brinda experiencias del proyecto internacional BIOMAS-CUBA en la implementación de alternativas de suministro de energía a partir de la biomasa en el medio rural, que sean compatibles con la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. Estas experiencias se enmarcan entre 2009 y 2011, en el marco del concepto de la finca agroenergética, y están relacionadas con procesos de investigación e innovación tecnológica asociados a: la evaluación morfológica, productiva y química de germoplasma de plantas oleaginosas no comestibles con potencial para producir biodiesel, etanol y otros productos; la siembra y manejo agrícola de asociaciones de *Jatropha curcas* y 21 cultivos alimenticios; el beneficio y extracción de aceite de semillas de *Jatropha*; la caracterización físico-química de dicho aceite; la producción de biodiesel y sus coproductos; la producción de biogás a partir de excretas y de bioproductos y bioabonos, con los efluentes de biodigestores; la gasificación de biomasa leñosa para generar electricidad; la caracterización y clasificación de sistemas integrados para la producción de alimentos y energía. Asimismo, los estudios socioeconómicos y ambientales permitieron apreciar una adecuada factibilidad económico-financiera, incrementos notables en la producción de alimentos, la formación del capital humano y la mejora de la calidad de vida de las personas, un positivo impacto ambiental, y una sustitución de portadores energéticos y fertilizantes convencionales.

Palabras clave: Biomasa, energía

#### **Abstract**

This paper provides experiences of the international project BIOMAS-CUBA in the implementation of energy supply alternatives from biomass in rural areas, which are compatible to food security and environmental sustainability. These experiences are comprised between 2009 and 2011, within the agroenergetic farm concept, and are related to research and technological innovation processes associated to: the morphological, productive and chemical evaluation of germplasm of non-edible oil plants with potential to produce biodiesel, ethanol and other products; the planting and agricultural management of associations of *Jatropha curcas* and 21 food crops; the cleaning and oil extraction of *Jatropha* seeds; the physical-chemical characterization of such oil; the production of biodiesel and its co-products; the biogas production from excreta and bioproducts and biofertilizers, with the effluents of biodigesters; the gasification of ligneous biomass to generate electricity; the characterization and classification of integrated food and energy production systems. Likewise, the socioeconomic and environmental studies allowed appreciating adequate economic-financial feasibility, remarkable increases in food production, the formation of human capital and the improvement of the people's quality of life, a positive environmental impact and a substitution of energy porters and conventional fertilizers.

Key words: Biomass, energy

### Introducción

Cuando se aborda la producción de energía en el medio rural es clave hacer referencia a la agroenergía o bioenergía, los biocombustibles, la seguridad alimentaria, así como la mitigación y adaptación al cambio climático, temas de gran importancia y muy controvertidos. La reunión combinada de los Grupos de Expertos, tanto en política bioenergética, mercados, comercio y seguridad alimentaria como en perspectivas mundiales de la seguridad alimentaria y de los combustibles (FAO, 2008a), abordó la situación actual y las perspectivas futuras de los biocombustibles, la identificación de acciones prioritarias asociadas a los efectos del cambio climático y la producción de biocombustibles en la seguridad alimentaria, y las oportunidades en la producción de biocombustibles para el desarrollo agrícola y rural.

Asimismo, el crecimiento notable de la población mundial y las expectativas de un mejor nivel de vida son aspectos que impulsan la creciente demanda de alimentos, lo que impone un incremento de la presión sobre la tierra, el agua, los bosques y la biodiversidad. A esta presión se añade una adicional: el cambio climático y la ampliación de la producción de biocombustibles, abordados por Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply (2006), Embrapa Agroenergía (2008), FAO (2009) y Practical Action Consulting (2009), ya que la dependencia de energía basada en combustibles fósiles no es sostenible (Aranda, 2007; Preston, 2007; FAO, 2008b; Nestle, 2008).

Por otra parte, globalmente se sufre una creciente y notable crisis alimentaria, en la cual ha influido, entre diversas causas, una insensata política para obtener biocombustibles de primera generación –bioetanol, biodiesel– a partir de enormes extensiones de monocultivos alimentarios y grandes empresas, lo cual crea una gran contradicción: biocombustibles vs. alimentos, la cual ha sido reconocida en diversos escenarios (Suárez, 2008; Emanuelli *et al.*, 2009; Suárez y Martín, 2010).

Sin embargo, la agroenergía –referente a la producción de energía a partir de la biomasa–

### Introduction

When energy production in rural areas is approached, it is essential to make reference to agro-energy or bioenergy, biofuels, food security, as well as mitigation and adaptation to the climate change, highly important and controversial topics. The combined meeting of the Groups of Experts, on bioenergetic policy, markets, commerce and food security as well as on world perspectives of food security and fuels (FAO, 2008a), approached the current situation and future perspectives of biofuels, the identification of priority actions associated to the effects of climate change and biofuel production on food security and the opportunities in biofuel production for agricultural and rural development.

Likewise, the remarkable growth of the world population and the expectations of a better living status are aspects which drive the growing demand for food, imposing an increase of the stress on land, water, forests and biodiversity. To this stress an additional one is added: the climate change and the enlarging of biofuel production, approached by Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply (2006), Embrapa Agroenergía (2008), FAO (2009) and Practical Action Consulting (2009), because the dependence on fossil-fuel energy is not sustainable (Aranda, 2007; Preston, 2007; FAO 2008b; Nestle, 2008).

On the other hand, there is a growing and remarkable global food crisis, which has been influenced, among diverse causes, by an insensible policy to obtain first-generation biofuels – bioethanol, biodiesel– from enormous extensions of food monocrops and large enterprises, creating a great contradiction: biofuels vs. food, which has been acknowledged in diverse scenarios (Suárez, 2008; Emanuelli *et al.*, 2009; Suárez and Martín, 2010).

However, agroenergy –referring to energy production from biomass– has the potential to contribute to satisfy the growing energy demand, which requires the development of new knowledge and policies that promote the access of people to this energy source, but achieving food security without affecting the environment. Thus, the initiatives developed for agroenergy

dispone del potencial para contribuir a satisfacer la creciente demanda energética, lo que exige el desarrollo de nuevos conocimientos y políticas que promuevan el acceso de las personas a esta fuente de energía, pero logrando una seguridad alimentaria sin afectaciones al medio ambiente. Por tanto, las iniciativas que se desarrollen para la producción de agroenergía a partir de la biomasa deben permitir: a) compatibilizar la seguridad alimentaria y la protección ambiental; b) ofrecer nuevas oportunidades a las comunidades rurales; y c) constituir una alternativa ecológica a los combustibles fósiles, por su capacidad de reducción de la emisión de gases de efecto invernadero (Metz *et al.*, 2005; UNEP, 2007; FAO, 2008c).

Durante la última década se ha producido una tendencia creciente en el precio del petróleo y de los alimentos, así como cambios climáticos y ecológicos significativos a escala regional y global. Esta situación se atribuye a dos factores fundamentales: 1) el resultado acumulativo del uso irracional de los recursos naturales, y 2) la inestable situación geopolítica y de crisis económica y ambiental.

En el caso de Cuba, después del derrumbe del socialismo en el este de Europa que dio inicio a la crisis de los años 90' y afectó severamente la economía cubana, esta situación se ha agudizado con el fortalecimiento del bloqueo que, por 50 años, EE.UU. ha mantenido. Uno de los principales impactos fue el recorte de más de 80% de la disponibilidad de energía primaria y los recursos materiales, lo que incidió negativamente en la agricultura (basada en el consumo intensivo de energía y la mecanización) y generó una notable reducción de la producción de alimentos y el abandono de gran parte de las tierras, que en muchos casos fueron invadidas por malezas leñosas agresivas; otras sufrieron pérdidas de su potencial por salinización, anegación o sobreexplotación del suelo (Montes de Oca *et al.*, 2007). En este sentido, es necesaria la implementación de alternativas de suministro de energía en el medio rural que sean compatibles con la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental.

production from biomass must allow: a) compatibilizing food security and environmental protection; b) offering new opportunities to rural communities; and c) constituting an ecological alternative to fossil fuels, due to their capacity to reduce the emission of greenhouse gases (Metz *et al.*, 2005; UNEP, 2007; FAO, 2008c).

During the last decade, an increasing trend has occurred in the price of petroleum and food, as well as significant climate and ecological changes at regional and global scale. This situation is ascribed to two main factors: 1) the cumulative result of the irrational use of natural resources, and 2) the unstable geopolitical situation and the economic and environmental crisis.

In the case of Cuba, after the collapse of socialism in Eastern Europe which triggered the crisis of the 90's and severely affected the Cuban economy, this situation has been intensified with the enhancement of the embargo maintained during 50 years by the U.S.A. One of the main impacts was the reduction of more than 80% of the availability of primary energy and material resources, which had negative incidence on agriculture (based on intensive energy consumption and mechanization) and generated a remarkable reduction in food production and the neglect of great amounts of land, which in many cases were invaded by aggressive ligneous weeds; others underwent losses of their potential due to soil salinization, flooding or overexploitation (Montes de Oca *et al.*, 2007). In this sense, the implementation of energy supply alternatives, which are compatible with food security and environmental sustainability, in rural areas is necessary.

#### *The BIOMAS-CUBA project*

The Experimental Station "Indio Hatuey" (EPPF-IH), since its creation in 1962, has conducted many studies and innovation processes aimed at the sustainable development of the Cuban agricultural sector on agroecological bases (Blanco *et al.*, 2007), but since 2006 it has been exploring alternatives to achieve the energetic sustainability of production

### *El proyecto BIOMAS-CUBA*

La Estación Experimental "Indio Hatuey" (EEPF-IH), desde su creación en 1962, ha realizado numerosas investigaciones y procesos de innovación dirigidas al desarrollo sostenible del sector agrario cubano sobre bases agroecológicas (Blanco *et al.*, 2007), pero desde el año 2006 explora alternativas para lograr la sostenibilidad energética de los sistemas de producción, basados en fuentes locales, y proporcionar tecnologías factibles para reducir la dependencia energética externa en los sistemas agrarios y, con ello, lograr la sostenibilidad de la agricultura y la ganadería.

Con este propósito, la EEPF-IH, de conjunto con otras instituciones cubanas, comenzó a implementar en 2008 el proyecto internacional "La biomasa como fuente renovable de energía en el medio rural cubano" (BIOMAS-CUBA), con financiamiento de la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE), dirigido a introducir, desarrollar y/o mejorar tecnologías y sistemas para utilizar la biomasa como fuente renovable de energía y contribuir a mejorar las condiciones de vida en zonas rurales, en el marco de un proyecto multiinstitucional de innovación pluridisciplinaria, que abarca la producción y utilización de biodiesel y biogás, la gasificación de biomasa lignocelulósica y la producción de bioetanol celulósico a partir de residuos.

El proyecto BIOMAS-CUBA se sustenta en la definición de un conjunto de principios clave:

- Es un proyecto multiinstitucional, multidisciplinario, participativo, con amplia cobertura geográfica y considera las dimensiones tecnológica, productiva, económica, social y ambiental.
- Se combinan el desarrollo tecnológico y la asimilación de tecnologías e innovación (tecnológica y social), con la investigación básica para la búsqueda de soluciones.
- El sol como fuente de energía primaria para la producción de biomasa, sin la cual no hay biocombustible; por ello hay que fomentarla.
- Uso de recursos locales en sistemas agropecuarios integrados que reciclen residuos y energía.

systems, based on local sources, and provide feasible technologies to reduce the external energetic dependence in agricultural systems and, thus, achieve sustainability of agriculture and livestock production.

With this purpose, together with other Cuban institutions, it began to implement in 2008 the international project "Biomass as renewable energy source in Cuban rural areas" (BIOMAS-CUBA), with funds from the Swiss Cooperation and Development Agency (SDC), aimed at introducing, developing and/or improving technologies and systems to use biomass as renewable energy source and contribute to improving the living conditions in rural zones, within the framework of a multi-institutional project of pluridisciplinary innovation, which comprises the production and utilization of biodiesel and biogas, the gasification of lignocellulosic biomass and the production of cellulosic bioethanol from residues.

The BIOMAS-CUBA project is supported on the definition of a group of key principles:

- It is a multi-institutional, multidisciplinary, participatory project, with wide geographical cover and considers the technological, productive, economic, social and environmental dimensions.
- Technological development and technology and (technological and social) innovation assimilation are combined, with basic research to find solutions.
- The sun as primary energy source for biomass production, without which there is no biofuel; for such reason it has to be promoted.
- Use of local resources in integrated agricultural systems which recycle residues and energy.
- Biofuel is produced to be used for food production and improve the living conditions (integrated and local production of energy and food in the farm).
- In biodiesel production lands, which are not utilized in agriculture, and non edible trees are used, intercropped with food crops and pastures (diversification of production) providing environmental services, such as erosion control, recovery of degraded soils and carbon sequestration.

- Se produce biocombustible para destinarlo a producir alimentos y mejorar las condiciones de vida (producción integrada y local de energía y alimentos en la finca).
  - En la producción de biodiesel se utilizan tierras no aprovechadas en la agricultura y plantas arbóreas no comestibles, que se intercalan con cultivos alimenticios y pastizales (diversificación de la producción) y brindan diversos servicios ambientales, tales como el control de la erosión, la recuperación de los suelos degradados y el secuestro de carbono.
  - Uso integral de la biomasa como fuente de energía, alimentos y productos químicos (maximización del valor).
  - Los actores locales son protagonistas de las soluciones y los principales beneficiarios.
  - Asimilación de tecnologías, equipos y experiencias apropiadas en Cuba e internacionalmente, para un posterior proceso de ingeniería inversa (desarrollo tecnológico propio).
  - Proceso permanente de seguimiento y evaluación del impacto integral en cada área demostrativa y en las comunidades cercanas.
  - El propósito principal es contribuir a la sostenibilidad energética, con compatibilidad ambiental y seguridad alimentaria a escala local en el medio rural.
- En el marco del Proyecto, centrado en buscar sinergias entre ciencia, tecnología, innovación y desarrollo social, se realizan procesos de investigación e innovación tecnológica asociados a:
- Evaluación de germoplasma de plantas con potencial para producir biodiesel.
  - Siembra y manejo agrícola de plantaciones de *Jatropha curcas* asociada a cultivos alimenticios.
  - Cosecha, beneficio y extracción de aceite de semillas de *J. curcas*. Producción de biodiesel y sus coproductos.
  - Producción de biogás a partir de excretas y de bioabonos con los efluentes de los biodigestores.
  - Gasificación de biomasa leñosa para la producción de electricidad.
  - Integral use of biomass as a source of energy, food and chemical products (value maximization).
  - The local stakeholders are protagonists in the solutions and the main beneficiaries.
  - Assimilation of technologies, equipment and experiences appropriated in Cuba and at international level, for a later process of inverse engineering (proper technological development).
  - Permanent process of follow-up and evaluation of the integral impact in each demonstrative area and the nearby communities.
  - The main purpose is to contribute to energy sustainability, with environmental compatibility and food security at local scale in rural areas.
- Within the framework of the Project, focused on searching for synergies between science, technology, innovation and social development, research and technological innovation processes are conducted associated to:
- Evaluation of plant germplasm with potential for producing biodiesel.
  - Planting and agricultural management of *Jatropha curcas* plantations associated to food crops.
  - Harvest, cleaning and oil extraction of *J. curcas* seeds. Production of biodiesel and its co-products.
  - Production of biogas from excreta and biofertilizers with the effluents from biodigesters.
  - Gasification of ligneous biomass for electricity production.
  - Characterization and classification of integrated food and energy production systems.
  - Socioeconomic and environmental studies.
- In this process the concept 'agroenergetic farm' is used, which is conceived as: "the productive exploitation where technologies and innovations are developed, improved and evaluated to produce, in an integrated way, food and energy, which is used as input to produce more food in the farm itself, in order to improve the rural quality of life and protect the environment"; this concept is introduced in the

- Caracterización y clasificación de los sistemas integrados para la producción de alimentos y energía.
- Estudios socioeconómicos y ambientales.

En este proceso se utiliza el concepto de la finca agroenergética, la cual se concibe como: “la explotación productiva donde se desarrollan, mejoran y evalúan tecnologías e innovaciones para producir, de forma integrada, alimentos y energía, la cual se utiliza como insumo para producir más alimentos en la propia finca, con el propósito de mejorar la calidad de vida rural y proteger el ambiente”; este concepto se implanta en los escenarios donde se desarrolla el proyecto para promover un tránsito desde fincas agropecuarias a agroenergéticas.

### Principales resultados de investigación e innovación obtenidos en el Proyecto

#### *Caracterización de germoplasma de oleaginosas con potencial para la producción de biodiesel*

La variabilidad morfológica y productiva de procedencias de *J. curcas* (jatropha), *Ricinus communis* (higuereta) y *Aleuritis trisperma* (aleurititis) se caracterizó en bancos de germoplasma establecidos en las provincias de Matanzas, Sancti Spiritus y Guantánamo, como elemento clave para determinar su potencialidad para la producción de biodiesel. Para acceder al germoplasma de estas especies se efectuaron misiones de colecta en zonas puntuales de las provincias de Sancti Spiritus, Matanzas, Villa Clara y Guantánamo.

En jatropha se obtuvo semilla y, preferentemente, propágulos; mientras que en higuereta y aleurititis se colectaron solo semillas. Las accesiones de *J. curcas* (23), *R. communis* (5) y *A. trisperma* (10) fueron evaluadas indistintamente en la EEPF “Indio Hatuey” y en las Estaciones de Pastos de Sancti Spiritus y de Guantánamo.

Se evaluó una mayor cantidad de accesiones de *J. curcas*, ya que esta especie, muy distribuida geográficamente, tiene amplia variabilidad genética en sus poblaciones (Machado y Suárez, 2009). Esta variabilidad, según Toonen (2007),

scenarios where the project is developed to promote a transition from agricultural to agroenergetic farms.

### Main research and innovation results obtained in the Project

#### *Characterization of germplasm from oil plants with potential for biodiesel production*

The morphological and productive variability of *J. curcas*, *Ricinus communis* and *Aleuritis trisperma* provenances was characterized in germplasm banks established in the Matanzas, Sancti Spiritus and Guantánamo provinces, as key element to determine their potential for biodiesel production. In order to have access to the germplasm of these species, collection missions were carried out in certain zones of the Sancti Spiritus, Matanzas, Villa Clara and Guantánamo provinces.

In *J. curcas* seed and, preferably, propagules were obtained; while in *R. communis* and *A. trisperma* only seeds were collected. The accessions of *J. curcas* (23), *R. communis* (5) and *A. trisperma* (10) were indistinctly evaluated at the EEPF “Indio Hatuey” and the Stations of Pastures in Sancti Spiritus and Guantánamo.

A higher quantity of *J. curcas* accessions was evaluated, because this species, highly geographically distributed, has wide genetic variability in its populations (Machado and Suárez, 2009). This variability, according to Toonen (2007), is related to two components: the environmental one (climate, especially rainfall, soil and crop) and that associated to genotype. For such reason, Toonen (2007) proposed its domestication and breeding, with the objective of obtaining uniform harvests and predictable yields, at short term, because the use of wild provenances is done without knowing their yield potential, susceptibility to diseases, resistance to drought and flooding, tolerance to salinity and potential on marginal soils. This presupposes conducting essays from the available material in the germplasm banks, as long as the necessary width is acquired for any type of program aimed at breeding.

está relacionada con dos componentes: el medioambiental (el clima, principalmente las precipitaciones, el suelo y el cultivo) y el asociado al genotipo. Por ello, Toonen (2007) propuso su domesticación y mejoramiento, con el fin de obtener cosechas uniformes y rendimientos predecibles, a corto plazo, así como lograr variedades mejoradas, a largo plazo, ya que el uso de procedencias silvestres se realiza sin conocer su potencial de rendimiento, la susceptibilidad a las enfermedades, la resistencia a la sequía y al encharcamiento, la tolerancia a la salinidad y las potencialidades en suelos marginales. Ello presupone realizar ensayos a partir del material disponible en los bancos de germoplasma, en tanto se logre adquirir la amplitud necesaria para cualquier tipo de programa dirigido a la mejora.

Para la ejecución de la fase de establecimiento, las procedencias, plantadas a partir de propágulos (estacas) o sembradas directamente a partir de semillas, se dispusieron en parcelas de 8,0 x 2,0 m, espaciadas a 2,0 m entre líneas y 2,0 m entre plantas, separadas por calles de 3,0 m en ambos sentidos. Durante esta fase se realizaron observaciones sobre el número de plantas arraigadas y emergidas, a partir del cual se calculó el porcentaje de supervivencia.

La caracterización de las procedencias de *J. curcas* se realizó cuando las plantas tenían un año de edad. Los indicadores evaluados fueron: la altura de la planta; el grosor del tallo en la base y en las ramas primarias; el número de ramas primarias, secundarias y terciarias; el número y peso de los frutos cosechados; el peso de 100 semillas; el porcentaje de árboles con enfermedades (agarrotamiento de las hojas e infestación producidas por hongos); el número de semillas en un kilogramo; las dimensiones de la semilla; la productividad de frutos por árbol; el rendimiento total de semilla y el de semilla por unidad de área, así como el contenido de aceite.

A través de un análisis de componentes principales se identificaron como influyentes los indicadores cuyo valor de preponderancia fuera igual o superior a 0,70. A partir del patrón de componentes principales se realizó una clasificación, en grupos, de los materiales carac-

For executing the establishment stage, the provenances, planted from propagules (cuttings) or seeded, were placed in 8,0 x 2,0-m plots, spaced at 2,0 m between rows and 2,0 m between plants, separated by 3,0 m in both directions. During this stage observations were made on the number of rooted and emerged plants, from which the survival percentage was calculated.

The characterization of the *J. curcas* provenances was made when the plants were one year old. The evaluated indicators were: plant height; stem diameter at the base and the primary branches; number of primary, secondary and tertiary branches; number and weight of the harvested fruits; weight of 100 seeds; percentage of trees with diseases (leaf curl and infestation produced by fungi); number of seeds in a kilogram; seed dimensions; fruit productivity per tree; total seed yield and seed yield per area unit, as well as oil content.

Through a principal component analysis the indicators which preponderance value was equal to or higher than 0,70 were identified as influential. From the pattern of principal components a classification was made in groups, of the characterized materials, by means of a cluster analysis which only considered the variables that fulfilled the above-mentioned requisite.

The high degree of differentiation among the *R. communis* and *A. trisperma* provenances was evident for the vegetative as well as the reproductive features, for which it was not necessary to conduct multivariate analyses to identify the factors with the highest influence in their variability. In addition, the scarce number of provenances did not allow a reliable PCA.

Among the characterization results the following stand out:

- Propagule diameter is an important indicator at the time of collection; a diameter lower than 1,0 cm causes a trend to mortality and to show a lower number of shoots and leaves when they are able to take root.
- The age and selected parts of the plant in the donor material, as well as seed quality, seem to influence remarkably the variation of the necessary days for shooting or emergence; as

terizados, mediante un análisis de conglomerados que solo consideró las variables que cumplieran el requisito anterior.

El alto grado de diferenciación entre las procedencias de *R. communis* y *A. trisperma* fue evidente tanto para los caracteres vegetativos como para los reproductivos, por lo que no fue necesario realizar análisis multivariados para identificar los factores que más influyeron en su variabilidad. Además, el escaso número de procedencias no permitía un ACP confiable.

Entre los resultados de la caracterización se destacaron los siguientes:

- El diámetro de los propágulos es un indicador importante en el momento de la colecta; un diámetro inferior a 1,0 cm manifiesta tendencia a la mortalidad y a presentar menor número de brotes y de hojas cuando logran arraigar.
- La edad y las partes de la planta elegidas en el material donante, así como la calidad de la semilla, parecen influir notablemente en la variación de los días necesarios para la brotación o la emergencia; así como en el porcentaje de supervivencia en condiciones de vivero.
- El patrón de variación, en términos de plantas arraigadas y porcentaje de supervivencia en condiciones de campo, fue similar al encontrado en vivero. En condiciones de campo fue evidente el efecto del estrés causado por el traslado a la nueva condición.
- Las procedencias poseen características diferenciales acentuadas, tanto vegetativas como reproductivas, lo que constituye un elemento alentador en el proceso de identificación de los materiales prominentes en la actualidad y en el futuro.
- El grado de desarrollo alcanzado en el primer año en *J. curcas* no dependió de la vía de propagación, sino de las características productivas de cada procedencia.
- Se encontraron, indistintamente, procedencias con alto potencial de producción o aquellas que no fructificaron o produjeron muy pocos frutos, lo que ratifica los evidentes signos de variación existentes y la necesidad de continuar la introducción y la colecta.

well as the survival percentage under nursery conditions.

- The variation pattern, in terms of rooted plants and survival percentage under field conditions, was similar to the one found in the nursery. Under field conditions the effect of the stress caused by the transfer to the new condition was evident.
- The provenances have acute differential vegetative as well as reproductive characteristics, which constitutes an encouraging element in the identification process of prominent materials at present and in the future.
- The growth degree reached in the first year in *J. curcas* did not depend on the propagation means, but on the productive characteristics of each provenance.
- Provenances with high production potential or those that did not fructify or produced very few fruits were indistinctly found, which ratifies the evident existing variation signs and the need to continue the introduction and collection.
- The affectations produced by diseases reached moderate or high values, with some exceptions, in high fruit-producing individuals as well as in those that did not reach the reproductive phenophase. This warns about the need to do further studies aiming at establishing the relation between diseases and fruit production, and the possible noxious potential that could be represented by the presence of pests.
- In the *J. curcas* provenances evaluated at the EEPF "Indio Hatuey" accessions were identified capable of reaching seed yields similar to those of foreign provenances, as in the ones called San Miguel and SSCE-10. However, Cabo Verde is still the most outstanding provenance.
- A high contrast was detected in productive terms for the *J. curcas* material evaluated in San Antonio del Sur, Guantánamo. The best provenance to promote production areas is San Miguel, collected in Matanzas province, although it is possible to consider the varieties India and Mazal-3.

- Las afectaciones producidas por las enfermedades alcanzaron valores medios o altos, con algunas excepciones, tanto en individuos altos productores de frutos como en los que no alcanzaron la fenofase reproductiva. Ello alerta sobre la necesidad de profundizar en los estudios dirigidos a establecer la relación entre las enfermedades y la producción de frutos, y el posible potencial nocivo que pudiera representar la presencia de plagas.
- En las procedencias de *Jatropha* evaluadas en la EEPF "Indio Hatuey" se identificaron accesiones capaces de alcanzar rendimientos de semilla similares a los de las procedencias foráneas, como ocurrió con las denominadas San Miguel y SSCE-10. No obstante, la Cabo Verde continúa siendo la procedencia más destacada.
- Se detectó un gran contraste en términos productivos para el material de *J. curcas* evaluado en San Antonio del Sur, Guantánamo. La procedencia más indicada para fomentar las áreas de producción es la San Miguel, colectada en la provincia de Matanzas, aun cuando es posible tomar en consideración la variedad India y la Mazal-3.
- Las características del fruto y el contenido de aceite de la procedencia SSCE-10 fueron muy semejantes a los de la Cabo Verde, aunque esta última produjo el doble de aceite (estimado) por unidad de área.
- Se detectó variabilidad morfológica en los materiales de *R. communis* en Sancti Spíritus, así como en sus características productivas y de tolerancia a estrés.
- El comportamiento de las procedencias de *R. communis* colectadas en Cuba fue inferior al de las brasileñas, aunque se destacaron las denominadas Plantas 2 y 3, con mayores rendimientos de semilla, productividad por árbol y por unidad de área, así como producción de aceite.
- El material de *A. trisperma* establecido en suelos Pardos de Sancti Spíritus mostró un comportamiento contrastante en términos de altura y grado de bifurcación de las plantas.
- The fruit characteristics and the oil content of the provenance SSCE-10 were very similar to those of Cabo Verde, although the latter produced twice as much oil (estimate) as the former per area unit.
- Morphological variability was detected in the *R. communis* materials in Sancti Spiritus, as well as in its productive and stress-tolerance characteristics.
- The performance of the *R. communis* provenances collected in Cuba was lower than the Brazilian ones, although the ones called Plantas 2 and 3 stood out, with higher seed yields, productivity per tree and per area unit, as well as oil production.
- The *A. trisperma* material established on Brown soils of Sancti Spiritus showed a contrasting performance in terms of height and bifurcation degree of the plants.

#### *Characterization of the shells, press cakes and oil from non-edible oil plants*

A chemical characterization was made of the shells, press cakes and oil from six non-edible oil plants: *J. curcas*, *Azadirachta indica* (neem), *Moringa oleifera*, *R. communis*, *A. trisperma* and *A. moluccana*, with the support of the University of Vigo and the Biomass Energy Department (belonging to the National Center of Renewable Energy, Pamplona), in Spain.

The seeds were manually shelled and the shells were dried at 50°C during 24 h, ground, sieved to a particle size of 1 mm and preserved at 4°C until the moment of analysis. The oils were extracted by pressing the beans, with a pneumatic press. The *R. communis* seeds were directly pressed, without shelling, due to the impossibility of processing the beans in the press.

All the oils were immediately transferred to Eppendorf tubes and preserved at 4°C until the analysis. The residual oil of the press cakes was extracted with hexane for 16 h at 35°C. The defatted cakes were recovered by vacuum filtration and dried at 40°C during 24 hours. The dry cakes were ground and sieved to a particle size of 1 mm and preserved at 4°C. The oil content was gravimetrically determined.

*Caracterización de las cáscaras, tortas de prensado y aceite de oleaginosas no comestibles*

Se realizó una caracterización química de las cascarillas, tortas de prensado y aceite de seis oleaginosas no comestibles: *J. curcas*, *Azadirachta indica* (neem), *Moringa oleifera*, *R. communis*, *A. trisperma* y *A. moluccana*, con el apoyo de la Universidad de Vigo y el Departamento de Energía de la Biomasa (perteneciente al Centro Nacional de Energía Renovable, Pamplona), en España.

Las semillas se descascararon manualmente y las cascarillas fueron secadas a 50°C durante 24 h, molidas, tamizadas hasta un tamaño de partícula de 1 mm y conservadas a 4°C hasta el momento del análisis. Los aceites se extrajeron mediante el prensado de las almendras, con una prensa neumática. Las semillas de *R. communis* se prensaron directamente, sin descascarar, debido a la imposibilidad de procesar las almendras en la prensa.

Todos los aceites fueron transferidos inmediatamente a tubos de Eppendorf y conservados a 4°C hasta el análisis. El aceite residual de las tortas de prensado se extrajo con hexano durante 16 h a 35°C. Las tortas desgrasadas fueron recuperadas por filtración a vacío y secadas a 40°C durante 24 h. Las tortas secas se molinaron y tamizaron hasta un tamaño de partícula de 1 mm y se conservaron a 4°C. El contenido de aceite se determinó gravimétricamente.

La caracterización química de las cascarillas y las tortas de prensado se realizó según las normas del NREL (Sluiter *et al.*, 2008). El contenido de humedad se determinó mediante el secado de una alícuota a 105°C hasta peso constante. Para la determinación de los minerales, la muestra fue incinerada a 550°C durante 3 h. Los extractivos se determinaron gravimétricamente, luego de una extracción con etanol al 96% en un aparato de Soxhlet durante 24 horas. Para la cuantificación de los carbohidratos y la lignina se realizó una hidrólisis ácida analítica con ácido sulfúrico al 72% a 30°C, durante una hora, y luego al 4% a 121°C durante otra hora. La mezcla fue separada por filtración al vacío y el residuo sólido se

The chemical characterization of the shells and press cakes was conducted according to the norms of the NREL (Sluiter *et al.*, 2008). The moisture content was determined by drying an aliquot at 105°C to constant weight. For determining minerals, the sample was incinerated at 550°C during 3 h. The extractives were gravimetrically determined, after an extraction with ethanol at 96% in a Soxhlet extractor during 24 hours. For carbohydrate and lignin quantification an analytical acid hydrolysis was made with 72% sulfuric acid at 30°C, during one hour, and then 4% at 121°C for another hour. The mixture was separated by vacuum filtration and the solid residue was used for the gravimetric determination of lignin. The analysis of hydrolizates was made by HPLC, with refractive index detector. Glucose, xylose, arabinose and acetic acid were separated in an ION-300 column (Transgenomic, Inc., USA) with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3 mM at a flow rate of 0,4 mL min<sup>-1</sup> as mobile phase. In the analysis of the composition of the press cakes, fiber determination was made through the sequential Goering-Van-Soest method (Goering and Van Soest, 1970).

The nitrogen determination was made with a Finnigan Flash EA 1112 elemental analyzer (Thermo Fisher Scientific, USA), using 130 and 100 mL min<sup>-1</sup> of He and O<sub>2</sub> with an oven temperature of 50°C. The protein content was calculated multiplying the elemental N content by the universal factor 6,25.

The content of fatty acids in the oils was determined by GC-MS of the previously methylated oils. A gas chromatographer (TRACE DSQ, USA) was used. The injection volume was 0,5 mL and He was used as mobile phase. For the separation a capillary HP-Innowax column of 60 m x 0,25 mm x 0,25 µm was used. The temperature was kept at 80°C during 2 min, it was programmed to 130°C at 5°C min<sup>-1</sup>, then to 210°C at 30°C min<sup>-1</sup>, it was maintained for 10 min. The acids were identified by comparing their retention times and their mass spectra, with a data library of mass spectra from known compounds.

The oil yield, main indicator of an oil plant to be industrialized, in the *Aleurites* bean was

utilizó para la determinación gravimétrica de la lignina. El análisis de los hidrolizados se realizó por HPLC, equipado con detector de índice de refracción. La glucosa, la xilosa, la arabinosa y el ácido acético fueron separados en una columna ION-300 (Transgenomic, Inc., USA) con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  3 mM a un flujo de  $0,4 \text{ mL min}^{-1}$  como fase móvil. En el análisis de la composición de las tortas de prensado se realizó la determinación de las fibras por el método secuencial de Goering-van Soest (Goering y van Soest, 1970).

La determinación de nitrógeno se hizo con un analizador de elementos Finnigan Flash EA 1112 (Thermo Fisher Scientific, EE.UU.), utilizando  $130$  y  $100 \text{ mL min}^{-1}$  de He y  $\text{O}_2$  con una temperatura del horno de  $50^\circ\text{C}$ . El contenido de proteína se calculó multiplicando el contenido de N elemental por el factor universal 6,25.

El contenido de ácidos grasos en los aceites se determinó por GC-MS de los aceites previamente metilados. Se utilizó un cromatógrafo gaseoso (TRACE DSQ, EE.UU.). El volumen de inyección fue  $0,5 \text{ mL}$  y se usó He como fase móvil. Para la separación se utilizó una columna capilar HP-Innowax de  $60 \text{ m} \times 0,25 \text{ mm} \times 0,25 \text{ }\mu\text{m}$ . La temperatura se mantuvo a  $80^\circ\text{C}$  durante 2 min, se programó a  $130^\circ\text{C}$  a  $5^\circ\text{C min}^{-1}$ , después a  $210^\circ\text{C}$  a  $30^\circ\text{C min}^{-1}$ , y se mantuvo por 10 min. Los ácidos fueron identificados por comparación de sus tiempos de retención y sus espectros de masas, con una biblioteca de datos de espectros de masas de compuestos conocidos.

El rendimiento de aceite, principal indicador de una oleaginosa para ser industrializada, en la almendra de *Aleurites* fue de alrededor de 60% –el mayor, entre las semillas estudiadas–, mientras que fue de 50% en *J. curcas* y entre 35 y 40% en las demás oleaginosas, lo que coincidió con lo reportado en la literatura. Solamente en *A. trisperma* el rendimiento fue considerablemente superior y en *R. communis* inferior a los valores reportados previamente. Si se considera el rendimiento de aceite en las almendras y el contenido de almendras en las semillas, *A. trisperma* y *J. curcas* presentaron el mayor potencial como fuentes de aceites entre las oleaginosas en estudio (Martín *et al.*, 2010).

around 60% -the highest, among the studied seeds-, while it was 50% in *J. curcas* and between 35 and 40% in the other oil plants, which coincided with the reports in literature. Only in *A. trisperma* the yield was considerably higher and in *R. communis* it was lower than the above-reported values. If the oil yield in the beans and the bean content in the seeds are considered, *A. trisperma* and *J. curcas* showed the highest potential as oil sources among the studied oil plants (Martín *et al.*, 2010).

It stands out that the oleic acid represented 71% of the acids contained in *M. oleifera* and, due to its high content the *M. oleifera* oil is appropriate for applications that require a source of this acid. Recent reports stress the potential of *M. oleifera* for different applications, including biodiesel production (Anwar *et al.*, 2005). Another interesting result is that the 10-octadecenoic acid, which had not been detected in previous reports, was identified as the second most important component of the oil from the Cuban *M. oleifera*.

Due to its yield, high oil content and profile of fatty acids, *J. curcas* was identified as the most appropriate non-edible oil plant for producing biodiesel in Cuba. *A. trisperma* showed oil content higher than 60%, but its high content of polyunsaturated acids (about 50% of the identified fatty acids) limits its possibilities for this purpose.

The cakes obtained in the pressing of edible oil plants are rich in proteins, with high nutritional value to be used in animal feeding and as raw material in bioprocesses for obtaining products of high added value, such as aminoacids, enzymes, vitamins, antibiotics and biopesticides (Ramachandran *et al.*, 2007). Fewer studies have been conducted on the non-edible oil cakes, and their uses are limited to the production of biofertilizers and biogas.

A common characteristic of all the cakes was their high protein content, comparable to, and even higher than, the cakes of edible oil plants (Ramachandran *et al.*, 2007). The protein content varied between 38,7% in *A. trisperma* and 68,6% in *M. oleifera*. In the cakes of *A. moluccana*, *J. curcas* and *R. communis* it was approximately 60%.

Se destaca que el ácido oleico representó el 71% de los ácidos contenidos en *M. oleifera* y, por su alto contenido, el aceite de moringa resulta apropiado para aplicaciones que requieran una fuente de ese ácido. Reportes recientes resaltan el potencial de *M. oleifera* para distintas aplicaciones, incluyendo la producción de biodiesel (Anwar *et al.*, 2005). Otro resultado interesante es que se identificó al ácido 10-octadecenoico, el cual no había sido detectado en reportes previos, como el segundo componente más importante del aceite de *M. oleifera* cubana.

Por su rendimiento, alto contenido de aceite y su perfil de ácidos grasos, *J. curcas* se identificó como la oleaginosa no comestible más apropiada para producir biodiesel en Cuba. *A. trisperma* presentó un contenido de aceite superior al 60%, pero su alto contenido de ácidos poli-insaturados (alrededor del 50% de los ácidos grasos identificados) limita sus posibilidades para este propósito.

Las tortas obtenidas en el prensado de oleaginosas comestibles son ricas en proteínas, con un alto valor nutricional para ser utilizadas en la alimentación animal y como materias primas en bioprocesos para la obtención de productos de alto valor agregado, tales como los aminoácidos, las enzimas, las vitaminas, los antibióticos y los biopesticidas (Ramachandran *et al.*, 2007). Se ha investigado menos sobre las tortas de oleaginosas no comestibles, y sus usos se limitan a la producción de bioabonos y biogás.

Una característica común de todas las tortas fue su alto contenido de proteína, comparable, e incluso superior, al de las tortas de oleaginosas comestibles (Ramachandran *et al.*, 2007). El contenido de proteína varió entre 38,7% en *A. trisperma* y 68,6% en *M. oleifera*. En las tortas de *A. moluccana*, *J. curcas* y *R. communis* fue alrededor de 60%.

A pesar de su alto contenido de proteína, las tortas de prensado de oleaginosas no comestibles no pueden ser usadas directamente como suplementos proteínicos en la alimentación animal, debido a la presencia de toxinas, como la ricina en *R. communis* (Anandan *et al.*, 2005) y la curcina en *J. curcas* (Trabi *et al.*, 1997; Gübitz

In spite of its high protein content, the press cakes of non-edible oil plants can not be directly used as protein supplements in animal feeding, due to the presence of toxins, such as ricin in *R. communis* (Anandan *et al.*, 2005) and curcin in *J. curcas* (Trabi *et al.*, 1997; Gübitz *et al.*, 1999), for which they should be previously detoxified.

In addition, the cakes of *A. trisperma* and *R. communis* are evaluated as potential raw material for some fermentation processes, due to their relatively high carbohydrate content.

The shells are the result of seed shelling, before oil extraction. They have generally low economic value and are discarded or burned; in some cases they are used as fuel or raw material for the production of activated charcoal.

A study was conducted to evaluate the potential of shells as raw material for hydrolytic and fermentative productions. The study of the chemical composition of the shells has received little attention, because most reports about the composition of oil plant species are restricted to the bean components (Martín *et al.*, 2010).

The results showed wide variation in the composition of the studied materials. The *A. indica* shells showed a similar composition to hard woods and agricultural residues (Martín *et al.*, 2006), while most of the others turned out to be more lignified than typical lignocellulosic materials; even lignin contents were high in *A. trisperma* (62,9%) and *A. moluccana* (51,6%).

The high cellulose content in the shells from *A. indica* and *M. oleifera* indicates that they can be considered as glucose sources for the production of ethanol, lactic acid and other fermentative products. The *A. indica* shells, due to their high xylan content, have potential for producing xylitol, furfural or other xylose derivatives; while the abundance of acetyl groups favors the increase of the reactivity of the material in the cellulose and hemicellulose hydrolytic degradation. In the case of *M. oleifera*, its high protein content could be positive to decrease the cost of nutrient supplementation in fermentative processes.

*et al.*, 1999), por lo que deben ser previamente destoxificadas.

Además, las tortas de *A. trisperma* y *R. communis* se evalúan como potencial materia prima para algunos procesos de fermentación, debido a su relativo alto contenido de carbohidratos.

Las cascarillas son el resultado del descascarado de las semillas, previo a la extracción del aceite. Generalmente tienen un bajo valor económico y son desechadas o quemadas; en algunos casos, se utilizan como combustible o como materia prima para la producción de carbón activado.

Se realizó una investigación para evaluar el potencial de las cascarillas como materias primas para producciones hidrolíticas y fermentativas. El estudio de la composición química de las cascarillas ha recibido poca atención, pues la mayoría de los reportes sobre la composición de especies oleaginosas se restringen a los componentes de las almendras (Martín *et al.*, 2010).

Los resultados mostraron una amplia variación en la composición de los materiales estudiados. Las cascarillas de *A. indica* presentaron una composición similar a las maderas duras y residuos agrícolas (Martín *et al.*, 2006); mientras que la mayoría de las restantes resultaron mucho más lignificadas que los materiales lignocelulósicos típicos; incluso los contenidos de lignina fueron altos en *A. trisperma* (62,9%) y en *A. moluccana* (51,6%).

El alto contenido de celulosa en las cascarillas de *A. indica* y de *M. oleifera* indica que podrían ser considerados como fuentes de glucosa para la producción de etanol, ácido láctico y otros productos fermentativos. La cascarilla de *A. indica*, por su alto contenido de xilanos, tiene potencial para producir xilitol, furfural u otros derivados de la xilosa; asimismo su abundancia de grupos acetilos favorece el incremento de la reactividad del material en la degradación hidrolítica de la celulosa y la hemicelulosa. En el caso de *M. oleifera*, su alto contenido de proteína podría ser positivo para disminuir el costo de la suplementación de nutrientes en los procesos fermentativos.

#### *Sowing and agricultural management of J. curcas plantations associated to food crops*

Between 2009 and 2011, 93 ha of *J. curcas* associated to crops were planted at the EEPF-IH, at the Stations of Pastures in Sancti Spiritus and Las Tunas, as well as the Paraguay Farm and many farms of the Guantánamo province, territory which has most of its area planted; from them, 55% are located on soils that can not be used for other agricultural productions, which are found, in high proportion, in high-fragility areas, with environmental affectations and hydrographic basins.

At the EEPF-IH and in Guantánamo, planting distances were studied and eight combinations were evaluated; the following frames stood out:

- 2,5 x 4,0 m (1 000 trees/ha), appropriate for mechanized productive systems, with a land occupation of 72% for food production and 28% for energy.
- 2,5 x 3,0 m (1 333 trees/ha), appropriate for systems with tillage by animal draught, with a land occupation of 64% for food production and 36% for energy.

In these frames the performance of 21 intercropped agricultural crops was evaluated (Sotolongo *et al.*, 2009; Suárez *et al.*, 2010); considerable food productions were obtained, especially in beans, soybean, peanut, corn, cassava and sorghum, under survival irrigation and moderate fertilization conditions, with biofertilizers; *J. curcas* showed moderate productivity values (table 1).

Until now 147 000 seedlings of *J. curcas*, neem and fruit trees have been produced, but mainly of the first species, with application of the ECOMIC® fertilizer elaborated from mycorrhizae; an infrastructure was created to produce up to 80 000 seedlings in one year, with two nurseries, in Guantánamo.

#### *Harvest, cleaning and oil extraction from J. curcas seeds. Production of biodiesel and its co-products*

The schedule of cleaning, extraction, filtration, degumming and neutralization at the biodiesel production plant was defined, as well as the

### *Siembra y manejo agrícola de plantaciones de *J. curcas* asociada a cultivos alimenticios*

Entre 2009 y 2011 se sembraron 93 ha de *J. curcas* asociada a cultivos en la EEPF-IH, en las Estaciones de Pastos de Sancti Spiritus y Las Tunas, así como en la Granja Paraguay y en numerosas finas campesinas de la provincia de Guantánamo, territorio que posee la mayoría del área sembrada; de ellas, un 55% están ubicadas en suelos no utilizables para otras producciones agrícolas, que se encuentran, en alta proporción, en áreas de alta fragilidad, con afectaciones medioambientales y cuencas hidrográficas.

En la EEPF-IH y en Guantánamo se estudiaron distancias de siembra y se evaluaron ocho combinaciones; se destacaron los marcos siguientes:

- 2,5 x 4,0 m (1 000 árboles/ha), apropiado para sistemas productivos mecanizados, con una ocupación de la tierra de 72% para la producción de alimentos y un 28% para la energía.
- 2,5 x 3,0 m (1 333 árboles/ha), apropiado para sistemas con laboreo por tracción animal, con una ocupación de la tierra de 64% para la producción de alimentos y un 36% para la energía.

En estos marcos se evaluó el comportamiento de 21 cultivos agrícolas intercalados (Sotolongo *et al.*, 2009; Suárez *et al.*, 2010); se obtuvieron considerables producciones de alimentos, en lo cual se destacaron el frijol, la soya, el maní, el maíz, la yuca y el sorgo, en condiciones de riego de supervivencia y fertilización media, con bioabonos; *jatropha* mostró índices medios de productividad (tabla 1)

technological and industrial plan and the raw material needs. In this sense, a productive flow of 264 days/year was designed, with one work shift at the biodiesel plant of eight daily hours, from an annual harvest of 608 721 kg of fruits; the moisture of the shells and dry fruits was 24,7 and 13,5%, respectively.

This moisture is reduced to 15 and 6% (shells and seeds) through a process of 3-5 days of solar drying in a 1 000-m<sup>2</sup> area, which constitutes the first stage of the plant of fruit and seed cleaning and extraction, filtration, degumming and neutralization of *J. curcas* oil.

Afterwards, the fruits are shelled in a mechanical process, at a rate of 329 kg of fruits/hour, which generates 115 kg of shells/hour, which are chopped in a knife mill to reduce the particle size. The next step is oil extraction from the seed through cold pressure, at a rate of 226 kg of seeds/hour, which generates 507 kg of oil/day (528 L/day) and 152 kg of press cake/day (11% of oil). Both processes (shelling and pressing) generate, daily, 528 liters of filtered, neutralized and degummed oil, after the cleaning, and 1 074 kg of shells and cakes, appropriate as raw material to produce compost (284 t per year).

This oil, which physical-chemical characteristics are shown in table 2, is turned into biodiesel through a transesterification process with a BD JET 400 reactor, in the biodiesel plant acquired from the Costa Rican enterprise Central Biodiesel and installed at the Paraguay Farm (Guantánamo), with a production capacity of 400 L of biodiesel/day in an eight-hour shift (105 600

Tabla 1. Índices de productividad de *J. curcas* con riego de supervivencia y fertilización media.

Table 1. Productivity values of *J. curcas* with survival irrigation and moderate fertilization.

| Índice de productividad           | Productividad    |
|-----------------------------------|------------------|
| Producción de frutos, kg/árbol    | 3,5              |
| Numero de frutos/árbol            | 989,0            |
| Producción de cáscara, kg/árbol   | 1,0              |
| Producción semillas, kg/árbol     | 2,4              |
| Producción de torta, kg/árbol     | 1,7              |
| Producción de aceite, kg/árbol    | 0,7 (0,8 litros) |
| Producción de biodiesel, kg/árbol | 0,7 (0,8 litros) |
| Producción de glicerina, mL/árbol | 62,8             |

Hasta la fecha se han producido 147 000 plántulas de *jatropha*, neem y frutales, pero principalmente de la primera especie, con la aplicación del biofertilizante ECOMIC® elaborado a partir de micorrizas; se creó una infraestructura para producir hasta 80 000 posturas en un año, con dos viveros, en Guantánamo.

*Cosecha, beneficio y extracción de aceite de semillas de J. curcas. Producción de biodiesel y sus coproductos*

Se definió el esquema de beneficio, extracción, filtrado, desgomado y neutralización en la planta de producción de biodiesel, así como sus esquemas tecnológico e industrial y las necesidades de materia prima. En este sentido, se diseñó un flujo productivo de 264 días/año, con un turno de trabajo de la planta de biodiesel de ocho horas diarias, a partir de una cosecha anual de 608 721 kg de frutos; la humedad de las cáscaras y de las semillas de los frutos secos fue de 24,7 y 13,5%, respectivamente.

Esta humedad se reduce a 15 y 6% (cáscaras y semillas) mediante un proceso de 3-5 días de secado solar en un área de 1 000 m<sup>2</sup>, lo que constituye la primera etapa de la planta de beneficio de frutos y semillas y de extracción, filtrado, desgomado y neutralización del aceite de *J. curcas*.

Posteriormente, se descascaran los frutos en un proceso mecánico, a razón de 329 kg de frutos/hora, lo cual genera 115 kg de cáscaras/hora, que se trocean en un molino de cuchilla para reducir el tamaño de partícula. El siguiente paso es la extracción de aceite de la semilla mediante presión en frío, a razón de 226 kg de semillas/hora, lo que genera 507 kg/día de aceite (528 L/día) y 152 kg de torta prensado/día (11% de aceite). Ambos procesos (descascarado y prensado) generan, diariamente, 528 litros de aceite filtrado, neutralizado y desgomado, después del beneficio, y 1 074 kg de cáscaras y tortas, apropiados como materia prima para producir compost (284 t anuales).

Este aceite, cuyas características físico-químicas se muestran en la tabla 2, se convierte en biodiesel mediante un proceso de transesterificación con un reactor BD JET 400,

L per year), using anhydrous ethanol and potassium hydroxide.

As a result 105 600 L of biodiesel and 13,5 t of glycerol (raw material to produce glycerin, and which can be used in the perfume and cosmetic industry) are annually obtained. This biodiesel can be used pure in engines designed for this biofuel or mixed with diesel in traditional engines, as well as in food cooking with biodiesel burners (60-70 mL/hour without smoke emission) or pressurized kerosene burners.

In this sense, an integral technological proposal was elaborated for the agronomy and micro-industrialization of *J. curcas* and the economic use of the process co-products (shell, press cake and glycerol).

*Production of biogas from animal residues and biofertilizers with the biodigester effluents*

Biogas is a mixture of different gases produced by the anaerobic decomposition of organic matter. In its chemical composition methane (CH<sub>4</sub>) stands out, with 60-70%, but there are traces of hydrogen sulfur (H<sub>2</sub>S), which must be eliminated from the biogas current before being used as fuel; for that purpose, it is enough to make the biogas flow pass through a filter filled with iron filings.

The technologies selected to build anaerobic biodigesters were the fixed dome (Chinese model), the plastic tubular or polyethylene bag with continuous flow (Taiwan type) and the anaerobic lagoon covered with a geomembrane of high-density polyethylene (HDPE).

The shape of the fixed dome biodigester, of Chinese origin, is similar to a sphere and the gas is stored within the fixed drum at variable pressure, which is obtained by displacing the liquid under digestion towards a chamber called hydrostatic pressure chamber; the construction materials are blocks and/or bricks, cement and steel. These digesters are semi-continuously charged: the first charge is made with cellulosic material and manure, in addition to the corresponding inoculum, up to 70% of the capacity (Hilbert, 2003); then, charging is maintained as in a continuous digester; 120-180 days afterwards

Tabla 2. Caracterización de aceite de *J. curcas*, evaluado en Greentec (Universidad Federal de Rio de Janeiro).  
 Table 2. Characterization of the oil from *J. curcas*, evaluated in Greentec (Federal University of Rio de Janeiro).

| Indicador                       | Unidad            | Aceite alemán | Aceite de Minas Gerais (CETEC, Brasil) | Aceite cubano El Oro, Guantánamo (Greentec) | Aceite var. Cabo Verde, Nicaragua (Greentec) |
|---------------------------------|-------------------|---------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Valor calórico                  | Kcal/kg           | ND            | ND                                     | 8 957-9 335                                 | ND                                           |
| Extracción aceite de la semilla | % peso            | ND            | ND                                     | 37,0                                        | ND                                           |
| Índice áidez                    | %                 | 3-38          | 0,4                                    | 5,7                                         | 0,6                                          |
| Punto solidificación            | °C                | ND            | < -10                                  | -5                                          |                                              |
| Punto de inflamación            | °C                | ND            | ND                                     | 108                                         | 112                                          |
| Densidad 20°C                   | g/cm <sup>3</sup> | ND            | 0,907 (25°C)                           | 0,917                                       | 0,917                                        |
| Cenizas                         | %                 | ND            | < 0,1                                  | 0,00                                        | 0,00                                         |
| Agua (Karl Fischer)             | % peso            | ND            | ND                                     | 0,12                                        | 0,09                                         |
| Carbono (C)                     | % peso            | ND            | 76,9                                   | 91,8                                        | ND                                           |
| Hidrogeno (H)                   | % peso            | ND            | 11,4                                   | 7,0                                         | ND                                           |
| Azufre (S)                      | ppm               | ND            | ND                                     | 6,0                                         | 3                                            |
| Sodio (Na)                      | ppm               | ND            | ND                                     | 15,0                                        | 10                                           |
| Magnesio (Mg)                   | ppm               | ND            | ND                                     | 29,0                                        | 10                                           |
| Aluminio (Al)                   | ppm               | ND            | ND                                     | 24,0                                        | 6                                            |
| Silicio (Si)                    | ppm               | ND            | ND                                     | 48,0                                        | 32                                           |
| Fosforo (P)                     | ppm               | ND            | ND                                     | 44,0                                        | 15                                           |
| Cloro (Cl)                      | ppm               | ND            | ND                                     | 1,0                                         | 0                                            |
| Potasio (K)                     | ppm               | ND            | ND                                     | 152,0                                       | 7                                            |
| Calcio (Ca)                     | ppm               | ND            | ND                                     | 32,0                                        | 13                                           |
| Relación C/H                    | -                 | ND            | ND                                     | 13,1                                        | ND                                           |
| Ácido palmítico                 | % peso            | 15,6          | 14,3                                   | 12,4                                        | ND                                           |
| Ácido palmitoléico              | % peso            | 0,9           | 1,3                                    | 0,5                                         | ND                                           |
| Ácido esteárico                 | % peso            | 6,7           | 5,1                                    | 7,6                                         | ND                                           |
| Ácido oléico                    | % peso            | 42,6          | 41,1                                   | 32,4                                        | ND                                           |
| Ácido linoléico                 | % peso            | 33,9          | 38,1                                   | 45,4                                        | ND                                           |

Fuente: Sotolongo *et al.* (2010)

ND: No determinado.

en la planta de biodiesel adquirida en la empresa costarricense Central Biodiesel e instalada en la Granja Paraguay (Guantánamo), con una capacidad de producción de 400 L de biodiesel/ día en un turno de ocho horas (105 600 L anuales), utilizando etanol anhidro e hidróxido de potasio.

Como resultado se obtienen anualmente 105 600 L de biodiesel y 13,5 t de glicerol (materia prima para producir glicerina, que se usa en la perfumería y la industria cosmética). Este biodiesel puede ser utilizado, tanto puro en motores diseñados para este biocombustible o mezclado con diesel en motores tradicionales, como en la cocción de alimentos con quemadores de

it is completely discharged and the cycle is restarted. Abroad from China, generally, these digesters are continuously managed.

The plastic tubular biodigester consists in a type of elongated polyethylene bag, with a length-width ratio of approximately 5:1 –although for efficient construction reasons the proportions may differ (Frederiks, 2011)- which is placed in a pit. This biodigester is much less costly than the fixed-dome one, but it has a shorter useful life (less than 25%).

The anaerobic lagoon covered with high density polyethylene is a technology developed by the Biogas Technology Center of Hanoi for

biodiesel (60-70 mL/hora sin emisión de humo) o quemadores presurizados de queroseno.

En este sentido, se elaboró una propuesta tecnológica integral para la agronomía y la microindustrialización de *J. curcas* y el uso económico de los coproductos del proceso (cáscara, torta de prensado y glicerol).

*Producción de biogás a partir de residuos animales y de bioabonos con los efluentes de biodigestores*

El biogás es una mezcla de diferentes gases producidos por la descomposición anaeróbica de materia orgánica. En su composición química destaca el metano ( $\text{CH}_4$ ), con un 60-70%, pero existen trazas de sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), que debe eliminarse de la corriente de biogás antes de emplearlo como combustible; para ello es suficiente hacer pasar el flujo de biogás a través de un filtro relleno con virutas de hierro.

Las tecnologías seleccionadas para construir biodigestores anaeróbicos fueron la cúpula fija (modelo chino), el tubular plástico o de manga de polietileno con flujo continuo (tipo Taiwán) y la laguna anaeróbica cubierta con una geomembrana de polietileno de alta densidad (PAD).

La forma del biodigestor de cúpula fija, de origen chino, se asemeja a una esfera y el gas se almacena dentro de la campana fija a presión variable, la cual se obtiene desplazando el líquido en digestión hacia una cámara llamada de hidropresión; los materiales de construcción son bloques y/o ladrillos, cemento y acero. Estos digestores se cargan en forma semicontinua: se realiza una primera carga con material celulósico y estiércol, además del inóculo correspondiente, hasta un 70% de la capacidad (Hilbert, 2003); después se sigue cargando como un digestor continuo; a los 120-180 días se descarga en forma total y se reinicia el ciclo. Fuera de China, generalmente, se manejan estos digestores en forma continua.

El biodigestor tubular plástico consiste en una especie de bolsa elongada de polietileno, con una relación longitud-ancho de aproximadamente 5:1 –aunque por razones de construcción eficiente

large residue volumes and a quantity of solids (around 3%), with low construction and operation costs, solving the limitations of the uncovered anaerobic lagoons, which produce methane emissions and unpleasant odors to the atmosphere, and also do not allow recovering the biogas. Its bottom and walls can be made of impermeable clay, blocks, bricks or reinforced concrete, while the HDPE cover floats on the lagoon surface and is resistant to ultraviolet rays.

Biodigesters, in addition to producing biogas –which energy content in 1 m<sup>3</sup> of biogas (60%  $\text{CH}_4$  and 40%  $\text{CO}_2$ ) is approximately 6 kWh/m<sup>3</sup> (Hilbert, 2003)–, allow reducing the uncontrolled methane emission from livestock production, the increase of  $\text{CO}_2$  concentration in the atmosphere from the use of fossil fuels, the emission of nitrous oxide and ammonia by applying the biodigester effluents as fertilizer and the organic contaminants present in the excreta, due to the use of pesticides which are decomposed in the anaerobic digestion.

In the project, 69 biodigesters have been built, from them nine are plastic tubular, one has mobile dome (Indian model), two covered anaerobic lagoons and the other 57 are of fixed dome, with total digestion capacity of 1 665 m<sup>3</sup> and annual productions of 200 020 m<sup>3</sup> of biogas and 867 t of biofertilizers (equivalent to 604 barrels of petroleum -90 USD/barrel- and 116 t of whole NPK fertilizer-650 USD/t, respectively). The development of a software supported on LabVIEW 7.1 and its corresponding handbook to design biodigesters and secondary and tertiary treatment lagoons, when necessary, in order to decrease the biochemical oxygen demand BOD from the liquid effluent, contributed to this process.

Likewise, 28 plants were installed for bioproduct production from biodigester effluents, enriched with native microorganisms, which are used in animal and plant health, crop nutrition, elimination of bad odors in livestock production facilities, bioremediation of lagoons contaminated with organic residues and also in bioceramic filters.

las proporciones pueden diferir (Frederiks, 2011)—la cual se coloca en un foso. Este biodigestor tiene mucho menor costo que el anterior, pero posee una vida útil inferior (menos de un 25%).

La laguna anaeróbica cubierta con polietileno de alta densidad es una tecnología desarrollada por el Centro de Tecnología de Biogás de Hanoi para grandes volúmenes de residuales y una cantidad de sólidos (alrededor del 3%), con bajos costos de construcción y operación, la cual resuelve las limitaciones de las lagunas anaeróbicas descubiertas que emiten metano a la atmósfera y olores desagradables, y además no permiten recuperar el biogás. Su fondo y sus paredes pueden ser de arcilla impermeable, de bloques, ladrillos u hormigón armado; mientras que la cubierta de PAD flota en la superficie de la laguna y es resistente a los rayos ultravioletas.

Los biodigestores, además de producir biogás—cuyo contenido de energía en 1 m<sup>3</sup> de biogás (60% CH<sub>4</sub> y 40% CO<sub>2</sub>) es aproximadamente 6 kW.h/m<sup>3</sup> (Hilbert, 2003)—, permiten reducir la emisión descontrolada de metano proveniente de la ganadería, el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera proveniente del uso de combustibles fósiles, la emisión de óxido nitroso y amoníaco al aplicar los efluentes del biodigestor como fertilizante, y los contaminantes orgánicos presentes en los estiércoles, debido al uso de pesticidas que son descompuestos en la digestión anaerobia.

En el proyecto se han construido 69 biodigestores, de ellos nueve son tubulares plásticos, uno de cúpula móvil (modelo hindú), dos lagunas anaeróbicas cubiertas y los restantes 57 son de cúpula fija, con capacidad total de digestión de 1 665 m<sup>3</sup> y producciones anuales de 200 020 m<sup>3</sup> de biogás y 867 t de bioabonos (equivalentes a 604 barriles de petróleo –90 USD/barril— y a 116 t de fertilizante completo NPK –650 USD/t—, respectivamente). A este proceso contribuyó el desarrollo de un software soportado en LabVIEW 7.1 y su correspondiente manual para diseñar biodigestores y las lagunas de tratamiento secundario y terciario, cuando sean necesarias, en función de la disminución de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del efluente líquido.

### *Gasification of ligneous biomass for electricity production*

Biomass gasification is the conversion of solid biomass (wood, lignocellulosic forestry and agricultural residues) in a mixture of fuel gas, which is used in internal combustion engines to generate electricity, within a partial combustion process that occurs when the supplied air (oxygen) is lower than the one necessary for the biomass combustion to be completed. Biomass contains carbon, hydrogen and oxygen molecules, for which the complete combustion produces carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and water vapor (H<sub>2</sub>O), while the partial combustion generates carbon monoxide (CO) and hydrogen, which are fuel gases.

This biomass gasification is much more efficient (conversion efficiency higher than 75%) than its traditional combustion as wood or coal (the efficiency of conversion to energy is lower than 10-25%). The gas produced has a net calorific value of 4-6 MJ/m<sup>3</sup>, that is, 5-7 times lower than natural gas (36 MJ/kg) or biogas (22 MJ/kg) (FACT, 2010).

The selected technology was fixed-bed and downdraft with four stages within the gasifier (drying, pyrolysis, oxidation and reduction), and its provider was the Indian firm Ankur Scientific Energy Technologies, one of the world leaders in low capacity gasifiers (lower than 100 kW.h), from which two gasifiers were purchased with their generators, with capacity of 20 and 40 kW.h; they were installed at the Experimental Station “Indio Hatuey”, in Matanzas, and the sawmill “El Brujo” in the Gran Piedra-Baconao region, Santiago de Cuba, which work with wood from *Dichrostachys cinerea* (an invasive thorny ligneous plant) and residues from pruning in livestock production agroforestry systems, as well as wood residues.

This technology produces less tar than the updraft technology, for which it is more appropriate for the gas use in engines (FACT, 2010); however, it requires strict specifications of the fuel biomass (moisture, size).

Asimismo, se instalaron 28 plantas de producción de bioproductos a partir de efluentes de biodigestores, enriquecidos con microorganismos nativos, los cuales se utilizan en la sanidad animal y vegetal, la nutrición de cultivos, la eliminación de malos olores en las instalaciones pecuarias, la biorremediación de lagunas contaminadas con residuales orgánicos y también en filtros de biocerámicas.

#### *Gasificación de biomasa leñosa para la producción de electricidad*

La gasificación de biomasa es la conversión de biomasa sólida (madera, residuos forestales y agrícolas lignocelulósicos) en una mezcla de gas combustible, que se utiliza en motores de combustión interna para generar electricidad, en el marco de un proceso de combustión parcial que ocurre cuando el aire suministrado (oxígeno) es menor que el necesario para que la combustión de la biomasa sea completada. La biomasa contiene moléculas de carbono, hidrógeno y oxígeno, por lo que la combustión completa produce dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ); mientras que la combustión parcial genera monóxido de carbono (CO) e hidrógeno, que son gases combustibles.

Esta gasificación de la biomasa es mucho más eficiente (eficiencia de conversión superior al 75%) que su combustión tradicional como leña o carbón (la eficiencia de conversión a energía es inferior al 10-25%). El gas producido posee un valor calorífico neto de 4-6 MJ/m<sup>3</sup>, es decir, 5-7 veces inferior al gas natural (36 MJ/kg) o al biogás (22 MJ/kg) (FACT, 2010).

La tecnología seleccionada fue de lecho fijo y con flujo descendente (*downdraft*), con cuatro fases dentro del gasificador (secado, pirólisis, oxidación y reducción), y su proveedor fue la empresa hindú Ankur Scientific Energy Technologies, uno de los líderes mundiales en gasificadores de baja capacidad (inferior a 100 kW.h), de la cual se adquirieron dos gasificadores con sus generadores, con capacidad de 20 y 40 kW.h; estos se instalaron en la Estación Experimental "Indio Hatuey", en Matanzas, y en el aserradero de madera "El Brujo",

#### *Socioeconomic and environmental studies*

The economic-financial analysis made in stage I of BIOMAS-CUBA, with a horizon until 2014, provided a cost/benefit ratio that, at the end of this year is estimated in 3,4, including the investment made by the Swiss Cooperation Agency and the counterparts, with a net present value (NPV) higher than 34 million CUP and an internal rate of return (IRR) of 7,4%, with an investment recovery at the beginning of 2009, which confers adequate efficiency to the project. Likewise, a net profit higher than 48,2 million CUP, between 2009 and 2014, was calculated.

On the other hand, an increase was generated in food production (3 196 t of vegetables, fruits, milk, meat and eggs) in 2009-2011, directly influenced by the project, which, according to the prices in the local market, increased from 1,6 to 19,7 million CUP; the productive lines were also diversified, although the offer is still lower than the demand. In addition, in such period a local production of biogas, biofertilizers, rice and milk was achieved in 14 municipalities from five provinces equivalent to substituting diesel, fertilizers and food with a value of 280 626 USD.

Regarding the improvement of the people's quality of life, the following achievements stand out: the creation of 108 direct jobs with mean monthly salary of 469 CUP, higher than the mean salary of the four provinces involved (451 CUP), from which 14% is occupied by women under equal conditions; an improvement of the quality of life of 1 198 people directly in the 14 municipalities, due to the increase of jobs, incomes, access to equipment and productive inputs, better working conditions and the availability of gas cooking; the generation of 43,1 million CUP as income, during 2009-2011, with a mainstreamed gender approach (new jobs for women with equal salary, better working and living conditions) and an increased empowering of farmer women, who decide to study and begin a working life to acquire economic independence; self-financing and governance initiatives were even created in associationism actions.

Regarding the positive environmental impact between 2009 and 2011, the sequestration of

en la zona de la Gran Piedra-Baconao, Santiago de Cuba, que operan con madera de marabú (*Dichrostachys cinerea*, una leñosa espinosa invasora) y residuos de las podas de los sistemas agroforestales pecuarios, así como con residuos madereros.

Esta tecnología produce menos alquitrán que la de flujo ascendente (*updraft*), por lo cual es más apropiada para el uso del gas en motores (FACT, 2010); sin embargo, requiere estrictas especificaciones de la biomasa combustible (humedad, tamaño).

#### *Estudios socioeconómicos y ambientales*

El análisis económico-financiero realizado en la fase I de BIOMAS-CUBA, con un horizonte hasta el 2014, brindó una relación beneficio/costo que, al cierre de este año, se estima en 3,4, incluida la inversión realizada por la Cooperación Suiza y las contrapartes, con un valor actual neto (VAN) superior a 34 millones de CUP y una tasa interna de retorno de la inversión (TIR) de 7,4%, con una recuperación de la inversión al inicio del 2009, lo que le confiere al proyecto una adecuada eficiencia. Asimismo, se calculó una utilidad neta superior a 48,2 millones CUP, entre 2009 y 2014.

Por otra parte, se generó un incremento de la producción de alimentos (3 196 t de vegetales, frutas, leches, carnes y huevos) en 2009-2011, influido directamente por el proyecto, que, de acuerdo con los precios del mercado local, ascendió de 1,6 a 19,7 millones CUP; también se diversificaron los renglones productivos, aunque aún la oferta es inferior a la demanda. Además, en dicho período se logró una producción local de biogás, bioabonos, arroz y leche en 14 municipios de cinco provincias, equivalentes a sustituir importaciones de diesel, fertilizantes y alimentos por valor de 280 626 USD.

Con relación a la mejoría de la calidad de vida de las personas se destacan los siguientes logros: la creación de 108 empleos directos con salario medio mensual de 469 CUP, superior al salario medio de las cuatro provincias involucradas (451 CUP), de los cuales el 14% son ocupados por mujeres en igualdad de condiciones; una mejora del nivel de vida de 1 198 personas de

1 567 t of CO<sub>2</sub> was evaluated (a *J. curcas* tree captures 6 kg of CO<sub>2</sub>/year), which could generate incomes of 175 472 CUP (equivalent to • 20 533) according to the world values of the carbon credit market (13,10 • /t of CO<sub>2</sub>); 93 ha were reforested with *J. curcas* associated to food crops in 70% of the area, 55% of that land located on soils which were unusable for other agricultural productions, (in a high proportion) in high-fragility areas, with environmental affectations and hydrographic basins, as well as 97 ha of fruit trees and 15 ha of neem, with a survival higher than 80%; the contamination generated by cattle and pig dung was eliminated in 67 productive scenarios through the construction of biodigesters; 117 ha of soil invaded by *D. cinerea*, which had a high deterioration rate due to overexploitation in sugarcane plantations and salinization in Guantánamo, were recovered; and 1 830 ha of soils were improved by applying biofertilizers produced with biodigester effluents.

Concerning human capital formation, 911 producers and 41 managers have been trained through printed materials and participatory learning and experimentation methods, with gender approach, to enhance their abilities, from 20 technical talks, 36 workshops/courses, nine field days and more than 37 documents of different formats. Likewise, a network of people and institutions related to the food and energy productive chain has been created (63 institutions and organizations, 212 experts, extension workers and producers), which works actively; its members interact by e-mail and in periodic meetings and benefit from the services of the knowledge management network created in the project. Such network is enhanced with a virtual reference nucleus on Agroenergy at the EEPF "Indio Hatuey", supported on the web site <http://biomascuba.ihatuey.cu>, which is implemented on software CMS Joomla version 1.5.20 and servers with operative system Linux and it is supported on a cluster system on Proxmox Virtual Environment 1.9, which provides produced and systematized scientific and practical knowledge.

forma directa en los 14 municipios, debido al incremento de empleos, ingresos, acceso a equipos e insumos productivos, mejores condiciones de trabajo y disponer de servicio de cocción con gas; la generación de ingresos por 43,1 millones CUP, durante 2009-2011, con un enfoque de género transversalizado (nuevos empleos para mujeres con igualdad de salario, mejores condiciones de trabajo y vida) y un incremento del empoderamiento de las mujeres campesinas, que deciden superarse y comenzar una vida laboral para adquirir independencia económica; incluso, se crearon iniciativas de autofinanciamiento y de gobernabilidad en acciones de asociacionismo.

En cuanto al impacto ambiental positivo entre 2009 y 2011, se valoró el secuestro de 1 567 t de CO<sub>2</sub> (un árbol de *jatropha* captura 6 kg de CO<sub>2</sub>/año), que podría generar ingresos de 175 472 CUP (equivalente a 20 533 •) según los valores mundiales del mercado de créditos de carbono (13,10 •/t de CO<sub>2</sub>); se reforestaron 93 ha con *jatropha* asociada a cultivos alimenticios en un 70% del área, un 55% de esa tierra ubicado en suelos no utilizables para otras producciones agrícolas, que se encuentran (en una alta proporción) en áreas de alta fragilidad, con afectaciones medioambientales y cuencas hidrográficas, así como 97 ha de frutales y 15 ha de neem, con una supervivencia superior al 80%; se eliminó la contaminación generada por excretas vacunas y porcinas en 67 escenarios productivos, mediante la construcción de biodigestores; se recuperaron 117 ha de suelo invadidas por marabú, que en Guantánamo tenían un alto nivel de deterioro por la sobreexplotación en plantaciones de caña de azúcar y por la salinización; y se mejoraron 1 830 ha de suelos al aplicar bioabonos producidos con efluentes de biodigestores.

Referente a la formación del capital humano, 911 productores/as y 41 gestores/as se han capacitado mediante materiales impresos y métodos participativos de aprendizaje y experimentación, con enfoque de género, para fortalecer sus habilidades, a partir de 20 charlas técnicas, 36 talleres/cursos, nueve días de campo y más de 37 documentos de diferentes formatos. Asimismo, se

*Relevant aspects which have contributed to the Project's success*

- Thematic approach: integrated food and energy production in rural areas, on agroecological bases, and the application of the agroenergetic farm concept.
- Wide network relations among all the stakeholders, which was the main success cause and facilitated the synergies among stakeholders from several sectors at local, territorial and national scale.
- Innovation model aimed at the achievement of practical results and which promoted the link between the academic sector and producers.
- Local agricultural innovation processes, where technologies and innovations are improved with wide participation of the beneficiary, which generates improvements and sustainability.
- Decentralization of the project management, to increase creativeness, create leadership opportunities for people and institutions and make decisions in real time.
- Gender equity with a strategic position in the project, with activities conceived as "multisex" and not aimed only at the female sector.
- Synergies with other SDC-financed projects and with such institutions as the National Association of Small Farmers, local governments, municipal Agriculture delegations, branches of the Cuban Association of Animal Production and of the Association of Agricultural and Forestry Technicians, Cubaenergía, the Renewable Energy Direction of the Ministry of the Basic Industry and the Governmental Groups of Forestry and Organic Biomass, Biogas and Liquid Fuels.
- Permanent process of socialization of results, experiences, good practices, technologies and designs, etc., aimed at project direct beneficiaries and managers, governmental authorities and other policy-makers, at local, provincial and national scale.
- Participation and protagonist role of producers and their families.

--End of the English version--

ha conformado una red de personas e instituciones relacionadas con la cadena productiva de alimentos y energía (63 instituciones y organizaciones, 212 expertos/as, extensionistas y productores/as), la cual funciona de forma activa; sus miembros interactúan por e-mail y en encuentros periódicos, y se benefician de los servicios de la red de gestión del conocimiento creada en el proyecto. Dicha red está potenciada con un núcleo virtual de referencia en Agroenergía en la EEPF "Indio Hatuey", soportado en el sitio web <http://biomascuba.ihatuey.cu> que se implementa sobre software CMS Joomla versión 1.5.20 y servidores con sistema operativo Linux, y está soportado en un sistema de clúster (nube) sobre Proxmox Virtual Environment 1.9, que brinda el conocimiento científico y práctico producido y sistematizado.

*Aspectos relevantes que han contribuido al éxito del Proyecto*

- Enfoque temático: la producción integrada de alimentos y energía en el medio rural, sobre bases agroecológicas, y la aplicación del concepto de la finca agroenergética.
- Amplio trabajo en red entre todos los actores, que fue la principal causa del éxito y facilitó las sinergias entre actores de varios sectores a escala local, territorial y nacional.
- Modelo de innovación orientado hacia el logro de resultados prácticos y que promovió la vinculación entre el sector académico y los productores.
- Procesos de innovación agrícola local, donde se desarrollan y mejoran tecnologías e innovaciones con amplia participación del beneficiario, lo que genera mejoras y la sostenibilidad.
- Descentralización de la gestión del proyecto, para aumentar la creatividad, crear oportunidades de liderazgo para personas e instituciones y tomar decisiones en tiempo real.
- Equidad de género con una posición estratégica en el proyecto, con actividades concebidas como "multisexo" y no dirigidas solamente al sector femenino.

- Sinergias con otros proyectos financiados por COSUDE y con instituciones como la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños, los gobiernos locales, las delegaciones municipales de la Agricultura, las filiales de la Asociación Cubana de Producción Animal y de la Asociación de Técnicos Agrícolas y Forestales, Cubaenergía, la Dirección de Energía Renovable del Ministerio de Industria Básica y los Grupos Gubernamentales de Biomasa Forestal y Orgánica, de Biogás y de Biocombustibles Líquidos.
- Permanente proceso de socialización de resultados, experiencias, buenas prácticas, tecnologías y diseños, etc., dirigido a beneficiarios directos y gestores del proyecto, autoridades gubernamentales y otros decisores de políticas, a escala local, provincial y nacional.
- Participación y papel protagónico de los productores/as y sus familias.

### Referencias bibliográficas

- Anandan, S. *et al.* 2005. Effect of different physical and chemical treatments on detoxification of ricin in castor cake. *Animal Feed Science and Technology*. 120:159
- Anwar, F. *et al.* 2005. Interprovenance variation in the composition of *Moringa oleifera* oilseeds from Pakistan. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 82:45
- Aranda, D.A.G. 2007. A brazilian perspective on bioenergy issues. Conference in Workshop "Future of forest bioenergy". Stockholm, Sweden
- Blanco, F. *et al.* 2007. Génesis y evolución del quehacer científico. (Eds. F. Blanco, Milagros Milera y R. Machado). EEPF "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba. 249 p.
- Emanuelli, M.S. *et al.* 2009. Red sugar, green deserts. Latin american report on monocultures and violations of the human rights to adequate food and housing, to water, to land and to territories. FIAN Internacional, FIAN Suecia y la Coalición Internacional para el Hábitat, Oficina Regional para América Latina (HIC-AL). 303 p.
- Embrapa Agroenergía. 2008. I Plan director de Embrapa Agroenergía 2008-2011. Embrapa Agroenergía, Brasília D.F. 48 p.
- FACT. 2010. Biomass gasification. Process and applications. FACT Foundation, Eindhoven, The

- Netherlands. [en línea] <http://www.fact-foundation.com/>. [Consulta: 27-10-2011]
- FAO. 2008a. Política bioenergética, mercados y comercio, y seguridad alimentaria y perspectivas mundiales de la seguridad alimentaria y de los combustibles. FAO. Roma. [en línea] <http://www.fao.org/foodclimate/hlc-home/es/>. [Consulta: 13-04-2009]
- FAO. 2008b. Cambio climático, bioenergía y seguridad alimentaria: opciones para las instancias decisorias de políticas identificadas por las reuniones de expertos. Documento para la conferencia de alto nivel sobre la seguridad alimentaria mundial: Los desafíos del cambio climático y la bioenergía. FAO. Roma. 42 p.
- FAO. 2008c. Oportunidades y desafíos de la producción de biocombustibles para la seguridad alimentaria y del medio ambiente en América Latina y el Caribe. 30ª conferencia regional de la FAO para América Latina y el Caribe. FAO. Brasilia D.F. 8 p.
- FAO. 2009. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2009. FAO, Roma. [en línea] <http://www.fao.org/docrep/012/i0876s/i0876s00.htm>. [Consulta: 13-04-2009]
- Frederiks, B. 2011. Biogas bag installation manual for small bag type plug flow digesters. FACT Foundation, Eindhoven, Netherlands. [en línea] <http://www.fact-foundation.com/>. [Consulta: 2-10-2011]
- Goering, H.K. & van Soest, P.J. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, procedures and some applications), Agriculture Handbook, No. 379, USDA Agricultural Research Service, Washington
- Gübitz, G.M. *et al.* 1999. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. *Bioresource Technology*. 67:73
- Hilbert, J.A. 2003. Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar. Morón, Argentina
- Machado, R. & Suárez, J. 2009. Comportamiento de tres procedencias de *Jatropha curcas* en el banco de germoplasma de la EEPF "Indio Hatuey". *Pastos y Forrajes*. 32:29
- Martín, C. *et al.* 2006. Characterisation of agricultural and agro-industrial residues as raw materials for ethanol production. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*. 20:443
- Martín, C. *et al.* C. 2010. Fractional characterisation of jatropha, neem, moringa, trisperma, castor and candlenut seeds as potential feedstocks for biodiesel production in Cuba. *Biomass and Bioenergy*. 34:533
- Metz, B. *et al.* (Eds.) 2005. La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. Informe especial del IPCC. WMO-UNEP, Geneva, Switzerland. [en línea] <http://www.ipcc.ch>. [Consulta: 23-11-2008]
- Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply. 2006. Brazilian agroenergy plan 2006-2011. Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply, Secretariat for Production and Agroenergy. Embrapa Publishing House, Brasília, DF, 108 p.
- Montes de Oca, S. *et al.* 2007. Cultivation of *Jatropha curcas* L. for sustainable development of a semi-arid region of Guantánamo, Cuba. FACT Seminar, *Jatropha curcas*, Agronomy and Genetics. Wageningen, The Netherlands
- Nestle, Ingrid. 2008. Climate change and the role of renewable energy in the future. 5<sup>th</sup> European Biorefinery Symposium. Flensburg, Germany
- Practical Action Consulting. 2009. Small-Scale Bioenergy Initiatives. PISCES/FAO, Nairobi, Kenya
- Preston, T.R. 2007. Cambio climático y producción de alimentos y energía en sistemas agrícolas. Conferencia impartida en la EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba
- Ramachandran, S. *et al.* 2007. Oil cakes and their biotechnological applications. A review. *Bioresource Technology*. 98:2000
- Sotolongo, J. *et al.* 2009. *Jatropha curcas* L. Su potencial para el desarrollo sostenible socioeconómico, energético y medioambiental de zonas rurales en Cuba. Manual. CATEDES, Guantánamo, Cuba
- Sotolongo, J.A. *et al.* 2010. Avances en la utilización de la oleaginosa arbustiva *Jatropha curcas* L. en el contexto de modelos agroenergéticos en el Proyecto BIOMAS-CUBA. Documento de Trabajo. CATEDES, Guantánamo, Cuba.
- Sluiter, A. *et al.* 2008. Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass. Technical Report. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, USA.
- Suárez, J. 2008. Agroenergía y sistemas agroforestales pecuarios. Conferencia en el V Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Animal Sostenible. Universidad Nacional Experimental "Rómulo Gallegos"-INIA, Maracay, Venezuela
- Suárez, J. & Martín, G.J. 2010. Producción de agroenergía a partir de biomasa en sistemas

- agroforestales integrados: una alternativa para lograr la seguridad alimentaria y la protección ambiental. *Pastos y Forrajes*. 33 (3):1
- Suárez, J. *et al.* 2010. Producción integrada de biodiesel y alimentos: la concepción cubana. 4° Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel e 7° Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel. Universidade Federal de Lavras, Belo Horizonte, Brasil
- Toonen, M. 2007. Genetic improvement in *Jatropha*: expectations and timespan. Expert Seminar on *Jatropha curcas* L- Agronomy and genetics. FACT Foundation, Wageningen, The Netherlands
- Trabi, M. *et al.* 1997. Toxicity of *Jatropha curcas* seeds. Proceedings of the Symposium "Jatropha 97". Managua, Nicaragua
- UNEP. 2007. Annual Report. UNEP, Nairobi, Kenya

Recibido el 25 de noviembre del 2011

Aceptado el 5 de diciembre del 2011