

PRODUCCIÓN INTEGRADA DE ALIMENTOS Y BIOENERGÍA: LA EXPERIENCIA CUBANA

Jesús Suárez¹, Giraldo Martín¹, Luis Cepero¹, Dairom Blanco¹, Valentina Savran², José A. Sotolongo³, Alexander López², Fernando Donis⁴, Omar González⁵, Abel Peña⁶, Maykel Hernández⁷ y Milayda Hernández⁸

¹ Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (EEPFIH), Matanzas, Cuba; ² Coordinación local proyecto BIOMAS-CUBA, Cabaiguán, Sancti Spiritus, Cuba; ³ Sucursal del Grupo Empresarial Labiofam, Guantánamo, Cuba; ⁴ Finca Cayo Piedra, CCSF José Martí, Perico, Matanzas, Cuba; ⁵ Finca Plácido, CCS José Machado, Cárdenas, Matanzas, Cuba; ⁶ Centro de Desarrollo Local, Manatí, Las Tunas, Cuba; ⁷ Delegación Municipal de la Agricultura, Urbano Noris, Holguín, Cuba; ⁸ Coordinadora del CITMA, Calimete, Matanzas, Cuba. E-mail: jesus.suarez@ihatuey.cu

Resumen

Actualmente es necesario hacer coexistir la agroenergía, la seguridad alimentaria y la protección del ambiente y a este propósito contribuye el proyecto internacional BIOMAS-CUBA, liderado por la Estación Experimental "Indio Hatuey". Este proyecto, desde 2009, ha generado resultados en el desarrollo tecnológico y el fomento de la innovación asociados al biodiésel, al biogás y a la gasificación de biomasa residual, con un favorable impacto económico, social y ambiental, así como un fuerte vínculo ciencia-sector productivo-decisiones, en seis provincias cubanas, mediante la producción integrada de alimentos y energía, en armonía con el medio ambiente. Para ello ha promovido dos tipos de modelos productivos: la integración de 176 biodigestores de cúpula fija, tubular de polietileno y de laguna tapada en fincas de producción animal y vegetal, y la siembra y manejo agronómico de 460 ha de *Jatropha curcas* para la producción de biodiésel y cultivos alimenticios en asociación. Asimismo, se han instalado dos plantas de producción de biodiésel, 98 plantas de producción del bioproducto con múltiples usos, registrado con el nombre de IHplus® a base de microorganismos nativos en fincas campesinas, y cuatro redes de suministro de biogás, alimentadas por biodigestores, que benefician a 53 viviendas y 272 personas en el municipio Cabaiguán, en el centro del país, las que constituyen las primeras comunidades rurales en Cuba con una red de abasto de gas para la cocción de alimentos y otros usos. Todo ello ha generado un notable incremento de la producción local de alimentos, la mejora de la calidad de vida y los ingresos de las familias campesinas involucradas. En el artículo se exponen innovadoras experiencias de producción y uso de microorganismos nativos en fincas campesinas.

Palabras clave: agroecología, bioenergía, producción integrada, Cuba

Summary

At the moment it is necessary to make coexist the agroenergy, the food security and the environmental protection. This is the purpose of the international project BIOMAS-CUBA, under the leadership of "Indio Hatuey" Research Station. This project, carried out since 2009, has generated results in the technological and innovative development associated to the biodiesel, to the biogas and the gasification of the residual biomass, with a favorable economic, social and environmental impact, as well as a strong links between science-productive-decision makers sectors productive-decision-makers in six different Cuban provinces, by means of the integrated production of foods and energy, in harmony with the environment. Two types of productive models have been developed: the integration of 176 biodigestors of fixed dome, tubular of polyethylene and cover lagoon in farms of animal and plant production, as well as the sowing and agronomic management of 460 has of *Jatropha curcas* and crops associated for biodiesel production. Also, two plants of biodiesel production have been established, 98 plants of production of the bioproduct named and registered as IHplus®, with multiple uses, based in the reproduction of native microorganisms in rural farms, and four networks of biogas supply, fed from biodigestores that benefit 53 houses and 272 people in Cabaiguán municipality, in the center of the country. Those constitutes the first rural communities in Cuba with a supply of biogas for cooking the foods and other uses. Everything has generated it a notable increase of the local production of foods, the improvement

of the quality of life and the revenues of the rural families. In this article, innovative experiences of production and use of native microorganisms in rural farms, are shown.

Key words: agroecology, bioenergy, integrated production, Cuba

1.- INTRODUCCIÓN

Actualmente existe el reto de hacer coexistir la agroenergía, la seguridad alimentaria y la protección del ambiente, ante el cambio climático, la degradación ambiental y la crisis alimentaria; la bioenergía es una alternativa ecológica a los combustibles fósiles, por su capacidad de reducción de gases de efecto invernadero (GEI), por promover el desarrollo de comunidades rurales y posibilitar producir biocombustibles, alimentos y co-productos al mismo tiempo (Suárez *et al.* 2011). A este propósito contribuyen los proyectos internacionales BIOMAS-CUBA y BIOENERGÍA, liderados por la Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey" (EPPFIH) y financiado por la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE), el Global Environment Found (GEF) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

BIOMAS-CUBA, el proyecto con más experiencia desde 2009, ha generado resultados clave en el desarrollo de tecnologías y el fomento de la innovación, destacando la evaluación de plantas no comestibles con potencial para producir biodiésel; la concepción de una tecnología apropiada, que permita la producción integrada de alimentos y biodiésel a partir de los frutos de *Jatropha curcas*; la producción y utilización de biogás y bioabonos a partir de los efluentes de biodigestores; la gasificación de biomasa residual para generar electricidad; y el impacto económico, social y ambiental generado, con un fuerte vínculo entre comunidades rurales y decisores, así como con una notable vinculación ciencia-sector productivo (Suárez y Martín 2012, 2015). Estos resultados, se aplican en seis provincias cubanas y están dirigidos a contribuir a mejorar la calidad de vida, mediante la producción integrada de alimentos y energía, en armonía con el medio ambiente.

La importancia de esta experiencia radica en el fomento de sistemas locales de innovación en agroenergía, basados en procesos de innovación abierta entre múltiples actores (investigadores, productores, decisores, instituciones estatales y comunidades), donde se crea un nuevo concepto: la finca agroenergética¹, se difunden nuevas tecnologías apropiadas y aplicables en Cuba, se fomentan redes nacionales e internacionales y se incide en políticas públicas, todo ello apoyado en la formulación

e implementación de estrategias locales de producción integrada de alimentos y energía. Asimismo, se priorizan estos temas para contribuir a sustituir importaciones de alimentos y de combustibles, a la vez que se reducen las emisiones de GEI, se eliminan residuales contaminantes y se recuperan suelos degradados, además de contribuir a la adaptación de la agricultura al cambio climático y a la mejora de la calidad de vida en el contexto rural.

2.- SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y ENERGÍA: LA EXPERIENCIA DE BIOMAS-CUBA

En este sentido, BIOMAS-CUBA, desde 2009, ha estado promoviendo sistemas de producción integrada de alimentos y energía a partir de la biomasa asociados a fincas agroenergéticas, los cuales se han implementado en fincas campesinas, cooperativas y granjas estatales, en 22 municipios en las provincias de Guantánamo, Holguín, Granma, Las Tunas, Sancti Spiritus y Matanzas (el 40% de las provincias cubanas). Estos sistemas se concentran en dos tipos de modelos productivos: i) la integración de biodigestores en fincas de producción animal y vegetal, y ii) la siembra y manejo agronómico de cultivos alimenticios en asociación con *J. curcas*, un arbusto apropiado para la producción de biodiésel a partir de las semillas de sus frutos.

El primer modelo productivo promueve la construcción de biodigestores para el tratamiento anaeróbico de excretas porcino y/o vacuno, generando biogás como portador energético y bioabonos de alta calidad.

La tecnología del biogás ha trascendido a los años, por ser una alternativa eficiente para tratar los residuos que se generan en los sistemas productivos, además de tener como coproducto, tanto un gas con excelentes cualidades como combustible, el cual contribuye de manera positiva en el balance energético de sistema, como los efluentes que constituyen un apropiado bioabono.

Antes del 2014, en Cuba existían unas 800 plantas de biogás o biodigestores, instaladas principalmente para tratar residuales en la producción porcina del sector campesino; actualmente ya hay 3 537. En este crecimiento han jugado un importante papel los proyectos internacionales de cooperación.

En las condiciones del campesinado cubano las principales tecnologías asimiladas son:

- Plantas de biogás de cúpula móvil

Este sistema de biogás fue desarrollado por la Comisión de Industria Rural y Khadi de la India (KVIC), su contenedor de gas es una cubierta con forma de una caja

¹ Definida 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" (Suárez *et al.* 2011).

tapada directamente sobre el líquido o a una junta de agua alrededor de la boca del estanque.

El gas producido en el estanque es recolectado y almacenado en la cúpula, a expensas de la flotación de esta, cuanto más gas contiene, más se eleva. El peso de la cúpula crea una presión sobre el gas contenido adentro, cuando se consume el gas, la tapa se hunde hacia abajo. En cuanto a la hidráulica, la introducción de nuevo material para descomponer por el tubo de entrada, crea una presión que impulsa el residuo o material ya descompuesto hacia afuera por el tubo de salida. Las tapas de estos equipos son hechas de laminado de acero o de hormigón armado con acero. El peso de la tapa influye mucho en la presión por dentro de estanque, y es un factor que en el momento del diseño hay que prestarle atención. La tapa de hierro genera un alto precio (ocupa 30-40 % del gasto de la obra).

En Cuba esta tecnología es extremadamente interesante, ya que producto del desmantelamiento de parte de la industria azucarera, en muchas regiones del país los productores de diversas formas han adquirido pailas, tanques de hierro y otros recipientes, los cuales con una pequeña adecuación son fácilmente adaptados como cúpula móvil para digestores de este tipo.

- Biodigestor de cúpula fija

Fue diseñado en China. El contenedor de gas y la laguna de compensación forman un conjunto hermético. El gas generado se almacena en la parte superior de la cúpula y por la parte inferior está el líquido en fermentación, el cual compensa las presiones que se generan en el interior del digestor. La piscina de compensación puede ser construida sobre el tanque de regulación de presión.

Los dispositivos de cúpula fija son construidos de ladrillo, cemento, arena y algunas barras corrugadas de acero, lo que en muchos países lo hace más económico que el de cúpula móvil. Otro elemento que lo hace una alternativa popular es que es relativamente sencillo y el propio beneficiario lo puede construir. El biodigestor de cúpula fija es construido debajo de la tierra, por lo que no ocupa espacio, mantiene una temperatura estable en el invierno y su impacto visual al paisaje es casi nulo.

- Planta de biogás de bolsa de nylon o PVC

Es una forma de equipo de biogás con tapa fija. El gas es contenido en la bolsa debido al carácter elástico de la misma y no es necesario el tanque de regulación de la presión, pero necesita peso sobre la bolsa para generarla. Este equipo es fácil de montar y barato, aunque su duración no es muy grande –inferior a un 25% de la vida útil de un biodigestor de cúpula fija–.

Esta alternativa no ha sido muy popular en Cuba, producto de la indisciplina tecnológica con que fue montada la primera generación que fue instalada en el país. En la actualidad varias agencias de cooperación y la industria cubana de la goma, están haciendo grandes esfuerzos por

desarrollar un prototipo cubano, con materiales más resistentes y un precio más económico, lo que se debe convertir en una buena alternativa para los productores porcinos.

Cualquiera de estas alternativas son igualmente útiles en cuanto al tratamiento de residuales, lo importante en todas es lograr la mayor hermeticidad, una adecuada colección del gas y una caída de la carga orgánica en la corriente de aguas contaminadas. Un elemento que hace a estos sistemas extremadamente importantes, son las características del efluente que se genera en el digestor, el cual es considerado entre los mejores abonos orgánicos utilizados.

Los principales usos para la familia campesina que le ha dado el biogás en la finca (Cepero *et al.* 2012) son:

- Cocción de alimentos: tanto para la familia como para los animales, en especial los cerdos.
- Calefacción: se destacan en este tema la calefacción de lechones y pollitos, los cuales necesitan una temperatura estable a lo largo del día y sobre todo en las noches de invierno.
- Iluminación: utilizando lámparas de camiseta es una alternativa para los lugares que no tienen acceso a la luz eléctrica. También son utilizados faroles chinos adaptados.
- Refrigeración: es un tema más novedoso, pero ya existen campesinos utilizando refrigeradores que funcionan a gas (refrigeración por absorción), que a partir del biogás enfrían sus alimentos.
- Generación eléctrica: con la adaptación de motores de gasolina a biogás y con la importación de grupos electrógenos, en varias fincas campesinas se utiliza el gas generado por las excretas, para cubrir la demanda energética de la vivienda en algunas horas del día.

En el caso de BIOMAS-CUBA a partir de 2009 se han diseñado y construido 176 biodigestores, principalmente de cúpula fija o modelo chino (hasta 90 m³ de capacidad), pero también tubulares de polietileno y la primera laguna anaeróbica cubierta con geomembrana sintética de alta densidad² de 400 m³ -actualmente están en construcción dos nuevas lagunas de 500 y 5 000 m³-, los cuales generan notables producciones, tanto de biogás³ que se utiliza en la cocción de alimento humano y animal, refrigeración, alumbrado, generación de electricidad y riego, como de bioabonos⁴ a partir de sus efluentes, destinados al final a la mejora de suelos degradados (Suárez 2015). En este proceso de innovación ha sido clave el vínculo entre varios centros de in-

2 Tecnología apropiada para grandes volúmenes de residuales, que resuelve las limitaciones de las lagunas anaeróbicas descubiertas, emisoras de metano y olores desagradables.

3 Actualmente, se generan en estos biodigestores 1 145 317 m³ de biogás anuales (equivalentes a 3 460 barriles de petróleo).

4 Se producen 90 423 t anuales de bioabonos, que se han utilizado para mejorar 3 828 ha de suelos degradados.

vestigación participantes en el proyecto BIOMAS-CUBA, empresas porcinas y campesinos.

Otro impacto importante en la calidad de vida de los pobladores es la creación de cuatro redes de suministro de biogás, alimentada por biodigestores, que benefician a 53 viviendas y 272 personas en el municipio Cabaiguán, en el centro del país, las que constituyen las primeras comunidades rurales en Cuba con una red de abasto de gas para la cocción de alimentos y otros usos, con un ahorro anual de electricidad de 77,2 MW.h. Asimismo, se ha entregado a productores en 10 municipios, cocinas, ollas arroceras, lámparas y refrigeradores que funcionan con biogás, lo que permite mejorar la calidad de vida y reducir el consumo doméstico de electricidad entre 40 y 70% en cada casa.

El segundo modelo surgió de la evaluación de un germoplasma de plantas oleaginosas no comestibles, como *Jatropha curcas*, *Ricinus communis* y *Aleuritis trisperma*, introducidas al país o colectadas en áreas rurales de este, que fueron aviveradas y establecidas en campo en tres provincias (Machado *et al.* 2012); esta evaluación fue complementada por la realizada en conjunto con varios campesinos en sus propias fincas, lo que permitió identificar materiales vegetales promisorios, principalmente de *J. curcas*, por sus rendimientos de semillas y aceite. Teniendo en consideración los aspectos señalados anteriormente acerca de *J. curcas*, así como las características fisicoquímicas de su aceite, se identificó como la planta más apropiada para producir biodiésel en Cuba, de ahí que en el año 2009 se inició su fomento en Guantánamo (Sotolongo *et al.* 2012).

Asimismo, en la EEPFIH y en Guantánamo (con la participación de varios productores) se sembraron áreas de *J. curcas* utilizando ocho combinaciones de distancias de siembra con dos marcos: 2,5 x 4 m (para sistemas mecanizados) y 2,5 x 3 m (para sistemas en que las labores culturales se realizan por tracción animal); y entre las hileras se intercalaron 21 cultivos agrícolas entre los que sobresalieron con los mejores rendimientos el frijol (*Phaseolus vulgaris*), la soya (*Glycine max*), el maní (*Arachis hipogaea*), el maíz (*Zea mays*), la yuca (*Manihot esculenta*), el sorgo (*Sorghum vulgare*) y el arroz (*Oryza sativa*) cuando se aplicó un riego de supervivencia y fertilización con bioabonos (Sotolongo *et al.* 2012).

Esta experiencia de intercalamiento de cultivos destinados para la alimentación humana entre las hileras de *J. curcas*, se replicó en otras fincas de los municipios Guantánamo, Media Luna, Calixto García, Jobabo, Martí, Perico y Ciego de Ávila –en seis provincias–, ocupando 460 ha, en una alianza estratégica con el Grupo Empresarial Labiofam (Suárez *et al.* 2014; Suárez 2015). No obstante, el Programa Estratégico de Producción de Biodiésel 2016-2024 que se formuló y aprobó recientemente en este grupo empresarial: prevé la siembra de otras 665 hectáreas, a las que se añaden 150 ha que fomentará el proyecto GEF-PNUD BIOENERGÍA en Manatí y Yaguajay.

Por otra parte, partir de una caracterización físico-química del aceite producido en Cuba y de pruebas de producción de biodiésel a pequeña escala, realizadas en

la Universidad Federal de Rio de Janeiro, se concibieron las necesidades de materias primas, los procesos de beneficio, extracción, filtrado, desgomado y neutralización, así como se instaló una planta de biodiésel en la Granja Paraguay, la primera en Cuba⁵, con una mezcla de tecnologías y una capacidad de 400 L de biodiésel/batch, (105 600 L/año). Actualmente, la producción se comienza a estabilizar y su destino es para uso local abasteciendo de biocombustible a tractores y equipos agrícolas.

Respecto a la reforestación de tierras improductivas con *J. curcas*, la misma se realizó en el 74% de esas áreas con suelos no utilizados para la agricultura, con diversas condiciones de degradación –salinidad, erosión, baja fertilidad, de alta fragilidad con afectaciones medioambientales y, en varios casos, en cuencas hidrográficas, lo que ha generado positivos impactos ambientales. Se ha valorado que dichas plantaciones secuestran anualmente 1 956 000 t de dióxido de carbono (CO₂), un importante GEI –la *Jatropha* captura 6 kg de CO₂/año/árbol– (Suárez *et al.* 2012, Suárez y Martín 2015).

Además, se han instalado en las fincas 98 plantas de producción del bioproducto con múltiples usos, registrado con el nombre de IHplus® a base de microorganismos nativos que se emplea para el enriquecimiento de efluentes de biodigestores y otros residuos, en la sanidad animal y vegetal, como probiótico, en la nutrición de cultivos, la eliminación de malos olores en instalaciones pecuarias y en la bioremediación (Suárez 2015).

También se han realizado estudios socio-económicos y ambientales, a partir de un programa de monitoreo y evaluación, dirigidos a evaluar el impacto de la producción local integrada de alimentos y de energía en escenarios productivos de 15 municipios. Un análisis económico-financiero realizado en la Fase I del proyecto BIOMAS-CUBA (2009-2011), pero con un horizonte hasta 2014, brindó una relación beneficio/costo de 3,4; incluida la inversión realizada por la Cooperación Suiza y las contrapartes cubanas. Asimismo, se calculó el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno de la inversión, con su recuperación al inicio del 2011, lo que le confirió al proyecto una adecuada eficiencia (Suárez *et al.* 2012).

Además, en la Fase I se generó un incremento de la producción local de alimentos (vegetales, frutas, leche, carne y huevo), debido a la incidencia directa del proyecto, de 1,6 a 27,3 millones de pesos cubanos (CUP), y se diversificaron notablemente los renglones productivos. En la Fase II, entre 2013 y 2016 ya generaron 88,7 millones CUP, se han sustituido importaciones de alimentos, combustibles y fertilizantes por 5,9 millones USD –sin considerar los ahorros en fletes marítimos– y se ha aumentado la producción de alimentos en los seis municipios participantes en un 31% respecto a 2012.

5 Actualmente ya están instaladas y operativas dos nuevas plantas en Media Luna y Perico, así como otras cuatro entre 2017 y 2019 en Martí, Yaguajay, Manatí y Calixto García, con capacidades entre 100 y 400 litros diarios.

En lo alcanzado en la calidad de vida de las familias campesinas se citan la creación de 372 nuevos empleos directos con un salario medio mensual superior al de las provincias involucradas, de los cuales el 28% son ocupados por mujeres en igualdad de condiciones; Por otra parte, se beneficiaron 20 785 personas de forma directa, debido al incremento de empleos, ingresos, el acceso a equipos e insumos productivos, la mejora de las condiciones de trabajo, además disponen de un servicio de biogás para la cocción de alimentos, lo cual favorece su desempeño en el hogar y la economía familiar.

También ha generado un impacto ambiental positivo asociado a la reforestación con la siembra de 335 000 árboles lo que favorece el secuestro de carbono, la sustitución de combustibles fósiles y la disminución de emisiones de CO₂ y SO₂, la eliminación de la contaminación generada por excretas vacunas y porcinas, la producción de bioabonos para mejorar los suelos, y la gasificación de biomasa leñosa que, además de permitir la producción de electricidad, posibilita utilizar los residuales contaminantes de los aserraderos y de la poda de sistemas agroforestales.

Respecto a la capacitación y la socialización de resultados del proyecto para incidir en políticas públicas, se han capacitado 136 decisores locales, provinciales y nacionales, así como 5 885 especialistas y productores (de los cuales 46% son mujeres), en 237 talleres, cursos, días de campo, recorridos e intercambios, y se elaboraron 130 materiales de capacitación, comunicación y socialización. A ello se le adiciona la labor de divulgación de los periódicos y sitios Web provinciales, así como de los programas radiales de emisoras locales.

Un catalizador clave de todo este proceso ha sido la formulación e implementación de Estrategias Locales de Producción Integrada de Alimentos y Energía en seis municipios, las cuales se integran a su Estrategia de Desarrollo Local, lo que ha permitido dotar a sus Gobiernos de un instrumento de gestión estratégica para promover en el marco de sinergias, la seguridad alimentaria, la utilización de fuentes renovables de energía, el tratamiento y aprovechamiento de residuales, la recuperación de tierras, la reducción de gases de efecto invernadero y la mitigación y adaptación al cambio climático.

3.- MICROORGANISMOS NATIVOS (MN) Y SU PAPEL EN EL MOVIMIENTO DE AGRICULTURA ECOLÓGICA EN CUBA

El concepto y tecnología de los EM® (Effective Microorganisms) fue desarrollado por el profesor Dr. Teruo Higa, en la Universidad de Ryukyu, Okinawa, en Japón. Su principio es introducir un grupo de microorganismos

benéficos para mejorar la condición de los suelos, suprimir microorganismos putrefactivos (inductores de enfermedades), y mejorar la eficacia en la utilización de la materia orgánica en los suelos (Higa y Wididana 1991).

Estos microorganismos son una mezcla de bacterias fotosintéticas o fototróficas (*Rhodospseudomonas spp.*), bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus spp.*) y levaduras (*Saccharomyces spp.*) en concentraciones superiores a 10⁵ unidades formadoras de colonias/ml.

En Cuba a partir del trabajo realizado por la EEPFIH, ha ocurrido una amplia extensión de esta tecnología, generada principalmente por el trabajo realizado por los proyectos internacionales BIOMAS-CUBA y PIAL, financiados por COSUDE.

Entre los principales usos que le dan los campesinos a estos bioproductos en el sector agrario se destacan los siguientes:

- Tratamiento de enfermedades digestivas en animales y uso como probiótico.
- Control de olores en instalaciones productivas.
- Tratamiento de residuales (sólidos y líquidos).
- Control de plagas y enfermedades.
- Producción de biofertilizantes.

En una evaluación inicial en 2008, en condiciones de producción, realizada en una unidad porcina en Jagüey Grande, Matanzas, en cerdos de pre-ceba (Blanco y Ojeda 2008), se lograron ganancias de peso de 5,23 kg superiores al control, al incorporar IHplus® (bioproducto a partir de microorganismos nativos) en la dieta.

Desde 2007 en el organopónico El Cacique, en la EEPFIH, se ha aplicado IHplus® en las diversas hortalizas que se cultivan. En la tabla 1 se muestran los exitosos resultados obtenidos en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*), con notables incrementos en el rendimiento y disminución en la incidencia de plagas, así como se duplicaron las cosechas por cada cantero (Blanco *et al.* 2012).

Tratamiento de residuales (sólidos y líquidos)

De los beneficios que brindan el pool de microorganismos, quizás el más difundido y utilizado a nivel internacional, es su propiedad de tratar diferentes niveles de contaminación en el medio ambiente.

Dentro de los efectos más notables de estos productos en el tratamiento de residuales se encuentran:

- Convertir los desechos en abonos orgánicos inofensivos, útiles y de muy buena calidad.
- Incrementar la eficiencia de la materia orgánica como fertilizante.

Tabla 1. Resultados de la aplicación de IHplus® en pepino, Organopónico El Cacique.

Tratamiento	Rendimiento en pepino (kg/cantero)	Cosechas por cantero	Presencia de plagas (%)
Control	68	2	92
Con IHplus	119	4	35

- Eliminar rápidamente el mal olor de los desechos y evitar la proliferación de insectos vectores, como moscas, ya que estas no encuentran un medio adecuado para su desarrollo.
- Disminuir el tiempo necesario para el reciclaje de los materiales biodegradables tardando sólo entre 8 a 10 semanas, según el ambiente y las influencias climatológicas.

Un importante resultado de la tecnología fue obtenido en el retiro Parque Josones de la playa de Varadero, en Matanzas, cuando a solicitud de la dirección del parque, a finales de 2009, un equipo de trabajo de Indio Hatuey, comenzó la aplicación de IHplus®, con una dosificación de 2 000 L/semana (1:10 000), durante un período de dos meses con un monitoreo constante hasta seis meses después de la primera aplicación (Blanco *et al.* 2012).

Se apreció la favorable evolución del color de las aguas del lago, desde un color verde intenso, con proliferación y acumulación de algas, hasta un color claro y limpio en la etapa final del tratamiento.

4.- TRATAMIENTO DE RESIDUALES DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN A PARTIR DEL BIOGÁS

La producción de biogás es una importante alternativa para el reciclaje de los residuos generados en los sistemas agropecuarios, además de ser una eficiente forma de obtener energía, y los productos obtenidos a partir de los microorganismos nativos pueden constituir un aditivo que ayude a optimizar los procesos microbianos que ocurren en el interior de los reactores.

Para demostrar este postulado se desarrolló una experiencia donde se crearon tres grupos experimentales:

- Control: 500 g excretas.
- Tratamiento 1: 5 g IHplus®/500 g excretas.
- Tratamiento 2: 10 g IHplus®/500 g excretas.

Como resultado se obtuvo que la introducción de IHplus® en los reactores de biogás, si bien no aumentaba de forma significativa la cantidad de gas producido por un volumen fijo de excreta, si disminuía de forma sensible los días de fermentación, factor que determina el tiempo de retención de la excreta dentro de los digestores (tabla 2).

El beneficio de esta tecnología es que para un mismo volumen de capacidad en los digestores, se puede tratar casi el doble de residual en igual período de tiempo, lo

que permitirá construir digestores más pequeños que los utilizados actualmente, con una elevada eficiencia.

Resultados similares fueron encontrados en Estados Unidos, donde la agencia responsable de la comercialización de estos productos, promueven su utilización con el fin de aumentar la cantidad y la calidad del biogás, atribuyendo a estos microorganismos la propiedad de disminuir hasta en un 30% las concentraciones de ácido sulfhídrico (H₂S), que es el elemento responsable de la propiedad corrosiva.

Todas estas experiencias de éxito han permitido alcanzar una madurez empírica de la tecnología en manos de los agricultores cubanos, los cuales replican e innovan en sus fincas alcanzando importantes resultados productivos y aportando a los investigadores valiosas pistas en la investigación y divulgación de este versátil producto.

5.- RESULTADOS EN FINCAS DE PRODUCCIÓN

Diversas fincas en la provincia de Matanzas, comenzaron a producir y emplear MN, aplicando los resultados favorables obtenidos por la EEPFIH Indio Hatuey y actualmente éstas experiencias se han extendido a través de todo el país. A continuación se ofrecen algunos resultados conseguidos en fincas pioneras en la aplicación de esta tecnología.

5.1.- Finca agroecológica Cayo Piedra, agricultor Ing. Fernando Donis Infante, Perico, Matanzas

Finca de 40 ha, que tiene una alta población de cocoteros (*Cocos nucifera*), y cuyo cultivo principal es el plátano fruta o banano (*Musa spp.*), y además se siembra boniato (*Ipomoea batatas*), ají (*Capsicum annum*), col (*Brassica oleracea*), guayaba (*Psidium guajava*), fruta bomba o papaya (*Carica papaya*), garbanzo (*Cicer arietinum*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y otros.

La finca desarrolla la lombricultura basada en la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y cuenta con un biodigestor para producir energía, especialmente para la cocción de alimentos, genera el lodo fertilizante para aplicar a los cultivos y sus efluentes se emplean tanto como biofertilizante así como sustituto de parte del agua en la fase líquida en la preparación de los MN.

La producción y aplicación de MN, es la más importante innovación que se viene aplicando desde hace algunos años (tabla 3), a partir de la transferencia de la EEPFIH y cuyos principales atributos según Donis (2007), son:

Tabla 2. Comportamiento de minireactores inoculados con IHplus® (Blanco *et al.* 2012)

	Control	Tratamiento 1	Tratamiento 2
Producción de gas	120	126	146
Días de fermentación	8	6	5

Tabla 3. Promedio por unidad y rendimiento por hectárea empleando MN en algunos cultivos, en la finca Cayo Piedra.

Cultivo	Peso medio/ fruto	Rendimiento (t/ha)	Observaciones
Col (<i>Brassica oleracea</i>)	6 – 7 kg	20	Completamente sana
Boniato (<i>Ipomoea batatas</i>)		40 - 50	Total salud, libre de tetuán
Remolacha (<i>Beta vulgaris</i>)	2,25	3,7	Completamente sana
Plátano fruta (<i>Musa paradisiaca</i>)		80 - 100	7 - 8 manos / racimo
Maíz (<i>Zea mays</i>)		4 - 5	Obtenido con semilla criolla, no mejorada. Sano
Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)		3	Completamente sano

- Se amplía la gama de microorganismos en el suelo, generando excelentes resultados en cuanto a la producción y calidad de los cultivos.
- Los microorganismos suprimen o controlan las plagas y enfermedades en los cultivos.
- Se disminuyen los costos al no emplear fertilizantes químicos y obtener altos rendimientos.
- Se reducen importaciones en insumos para la finca.
- Se beneficia la salud de los consumidores al obtener productos limpios y sanos.
- Su empleo combinado con otros abonos orgánicos como compost, humus de lombriz sólido o líquido y otros biofertilizantes o bioestimulantes aporta aún mejores resultados en la producción y sanidad de los cultivos.
- Se rediseñó y desarrolló un equipo para asperjar el plátano, a baja presión, para no dañar los microorganismos.

Preparación de los microorganismos nativos en la finca Cayo Piedra).

- Recoger hojarasca en descomposición de la capa u horizonte superior del suelo (pero no demasiado superficial), en un monte o área virgen, donde no exista un suelo degradado. Se ha observado que en áreas de bambú o caña brava (*Bambusa vulgaris*), o de marabú (*Dyckrostachis cinerea*) existe una buena presencia y población de microorganismos.
- Fase sólida, para activar los MN, primero se desarrolla una fase sólida o "madre", bajo condiciones anaeróbicas. Para ello, se llevan 20 kg de hojarasca a una manta o piso donde se unen íntimamente con unos 20-23 kg de polvo (sémola o semolina) de arroz, afrecho o salvado de trigo, o granos de maíz o sorgo finamente molidos, u otro grano, hasta alcanzar 46 kg, que se mezclan con 5-6 kg de miel (melaza de caña) y un litro de leche, yogurt o suero de leche como fuente de bacterias lácticas.

Se pueden añadir 8-10 litros de líquido de microorganismos activados o se añade todo de agua y se homogeniza bien, hasta que la mezcla tenga una consistencia que al apretarse con el puño, no filtre líquido, sino que forme una masa compacta como una pelota y humedezca los nudillos de la mano (prueba del puño). Se pasa

a un tanque plástico de 50 litros, hasta llenarlo, se apisona con fuerza y se tapa herméticamente (para el buen sellado, poner un saco de nylon entre el borde superior y la tapa) y se deja así por 21 días aproximadamente, para contar con un adecuado desarrollo de los MN bajo condiciones anaeróbicas.

- Fase líquida, posteriormente se pasa a la fase líquida en un tanque grande, en una proporción de 10 kg de la "madre", más 5 kg de melaza o 40 litros de guarapo (jugo de caña de azúcar), más agua restante para activar 200 L de MN. El agua puede ser sustituida en todo o en parte por humus líquido de lombriz, o efluente del biodigestor, lo cual incrementa el pool de microorganismos. Aclaramos que el agua no puede ser clorada y que el pH debe estar por debajo de 3-3,5 para su eficiente empleo y efecto rápido.
- Aplicación - a partir de cinco días de activados, los MN pueden comenzar a aplicarse a los cultivos siempre a baja presión, con asperjadora manual o la mecanizada desarrollada en la finca.
- De la manera descrita se logra un poderoso biofertilizante que además de proporcionar un alto rendimiento, favorece la sanidad de los cultivos y un acentuado mejoramiento de las características del suelo.

5.2.- Finca Plácido, agricultor Lic. Omar González Santamaría; Cantel, Cárdenas, Matanzas

Finca agroecológica que combina la producción animal (ganado vacuno, porcino, cunícola, caprino) y la vegetal (plantas ornamentales, diversos cultivos hortícolas y frutícolas como: guayaba (*Psidium guajaba*), mango (*Mangifera indica*), y otros. Se destaca su trabajo desarrollado en la producción de plantas anteriormente no convencionales, de empleo en animales y humanos, como la moringa (*Moringa oleifera*), Sacha Inchi (*Pulchenetia volubilis*) y otras. Desarrolla la lombricultura y tiene un biodigestor para producir energía en la finca y usar el producto fertilizante. En la actividad pecuaria vacuna trabaja con áreas de silvopastoreo basadas en gramíneas de pastoreo y king grass (*Pennisetum purpureum*) con la leguminosa arbustiva leucaena (*Leucaena leucocephala*). Utiliza ampliamente los MN en cultivos y animales, empleando básicamente los principios tecnológicos anteriormente descritos.

Tabla 4. Ganancia de peso en dos grupos de conejos con dos niveles de MN (sólido y líquido).

Tratamiento	Número de animales	Peso medio inicial (kg)	Edad al sacrificio (días)	Peso medio final (kg)	Ganancia diaria (g PV)
Grupo control (C+F)	10	8,5	40	1,42	19,0
C+F+50 g MNS	10	8,5	40	1,65	28,3
C+F+50 cc MNL	10	8,5	40	1,74	27,0
Grupo control (C+F)	5	8,5	90	2,40	23,3
C+F+25 g MNS	5	8,5	90	2,40	23,3
C+F+25 cc MNL	5	7,5	90	2,10	20,0

Leyenda: C – Control, F – Forraje, MNS – MN Sólidos, MNL – MN Líquidos

5.2.1.- Innovación en la preparación de los microorganismos nativos en la finca

Teniendo en cuenta que no a todos los campesinos les son accesibles algunos productos empleados en la formulación, como la melaza y el polvo de cereales, Omar los ha sustituido en el proceso por caña de azúcar molida, más otras plantas que también potencian y mejoran la efectividad de los MN. Por otra parte, ya se conocía bastante el efecto en los cultivos, pero la experiencia práctica era menor en la ganadería y en esta finca se han comprobado sus bondades en el control de ectoparásitos, las diarreas, la mastitis y en el mejoramiento de la salud animal en general.

El cambio consistió en emplear 25 kg de caña de azúcar (finamente molida con máquina troceadora de forrajes), en la preparación de la fase sólida o “madre”. El producto obtenido se analizó en el Instituto Carlos J. Finlay de La Habana y los parámetros fueron muy similares a los de los MN obtenidos mediante el método tradicional, aunque el pH de éste último fue de 3,5 a 4, mientras con la innovación practicada fue entre 3 a 3,5, cifra más deseable que incrementa la efectividad del producto.

5.2.2.- Potenciación

En la fase líquida de potenciación los MN mejoraron su efectividad en su empleo en la agricultura, con la adición de macerados de hojas de plantas como la moringa, el orégano (*Plectranthus amboinicus*), el nim (*Azadirachta indica*), ají picante (*Capsicum annum*), hojas de guanábana (*Annona muricata*), flor de muerto o marigol (*Tagetes erecta*). El procedimiento es el siguiente:

En un tanque plástico de 20 L, se mezclan 1 L de melaza, 1 kg de madre sólida de MN, 1 L de leche de vaca, 1 kg del macerado de hojas (ej. moringa), y se completa el resto con agua. Se tapa el recipiente de manera que salgan los gases a través de una trampa, para crear condiciones anaeróbicas. A los siete días el producto está listo (González 2014).

Los resultados obtenidos en producción animal en conejos se presentan en la tabla 4. Las mejores ganancias se consiguieron con el nivel más alto de MN (50 g/animal/día), tanto en estado sólido como líquido.

En cuanto a porcinos, los MN se emplearon en reproductoras, suministrándole 50 g de MNS (sólidos), a los

3-4 días antes y después del parto. Las cerdas madres no presentaron síntomas de mastitis ni de otras infecciones vaginales, en ningún caso. En los cerditos, que normalmente presentan diarreas a los seis días de nacidos, al recibir sus madres los MN, a partir de los dos días, desaparecieron. Al dejarse de aplicar, las mismas retornaron, por lo cual el tratamiento debe prolongarse por más de una semana, o hacerlo sistemático. Cuando los cerditos comienzan a comer se les debe suministrar de 5 a 10 cc de MNL (líquidos) en su dieta y al ser destetados, 20 cc por cerdito.

Se aumentó la ganancia de peso con el uso sistemático de MN sólidos, el peso promedio a las ocho semanas fue de 22,5 kg, y sin su empleo fue solo de 16,0 kg. La aspersión de MN en porcinos, eliminó las moscas y malos olores y controló las garrapatas en vacunos, aplicando el producto puro en animales con alta infestación que en cuatro días estaban totalmente limpios, manteniéndose el efecto durante tres meses.

Colaboradores:

Ing. Fredyc García, Ing. Evelyn Cabeza, Ing. Luis M. Álvarez, M.Sc. Joysel Verde y Dr.C. Fernando Funes Aguilar
EPPF Indio Hatuey, Matanzas

REFERENCIAS

- Blanco D y Ojeda F. 2008. Principios para la preparación de los microorganismos benéficos y sus potencialidades para la producción animal. Presentación. EEPFIH, Matanzas, Cuba. 18 p.
- Blanco D, Cepero L, Donis F, González O, García Y, Martín G, Suárez J, Ojeda F, Catalá R, Medina R, Díaz M, Fonte L, Ramírez I, Sánchez S y Miranda Y. 2012. IHplus®, un bioproducto de amplio uso agropecuario basado en MN. Su contribución a la sostenibilidad de los sistemas productivos integrados. En: La biomasa como fuente renovable de energía en el medio rural. Eds: J Suárez y G Martín. EEPFIH, Matanzas, Cuba: 150-180.
- Cepero L, Savran V, Blanco D, Díaz Piñón M, Suárez J y Palacios A. 2012. Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. En:

- La biomasa como fuente renovable de energía en el medio rural. Eds: J Suárez y G Martín. EEPFIH, Matanzas, Cuba: 131-142.
- Donis F. 2009. Prácticas agroecológicas en la producción. Ciencia e Innovación Tecnológica, Video. CITATENAS, TV Yumurí, Matanzas.
- González O. 2014. Los ME. Nuevos métodos de preparación y potenciación. Experiencias de su uso en la ganadería y agricultura de Cuba. Fórum Nacional de Ciencia y Técnica. Anap, La Habana.
- Higa T y Wididana GN. 1991. The concept and theories of effective microorganisms. In: Proceedings of the First International Conference on Kyusei Nature Farming. Eds: S Parr, B Hornick and C Whitman. U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., USA: 118.
- Machado R, Sotolongo JA y Rodríguez E. 2012. Caracterización de colecciones de oleaginosas útiles para la producción de biocombustible. En: La biomasa como fuente renovable de energía en el medio rural. Eds. J Suárez y G Martín. EEPFIH, Matanzas, Cuba: 41-69.
- Sotolongo JA, Martín G, Cala M, Vigil M, Toral O, Reyes F y Santana H. 2012. Producción integrada de biodiesel y alimentos: la concepción de una tecnología agroindustrial apropiada para Cuba. En: La biomasa como fuente renovable de energía en el medio rural. EEPFIH. Eds: J Suárez y G Martín. Matanzas, Cuba: 100-112.
- Suárez J. 2015. Informe de progreso del proyecto BIOMAS-CUBA Fase II, Enero-Junio. Estación Experimental "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba. 20 p.
- Suárez J, Martín G. (Eds.). 2012. La biomasa como fuente renovable de energía en el medio rural. La experiencia del proyecto internacional BIOMAS-CUBA. Estación Experimental "Indio Hatuey", Matanzas, Cuba. 216 p.
- Suárez J, Martín G. 2015. Local innovation processes in Agroenergía focused on the mitigation and adaptation to the climate change in Cuba. A successful example of the science-productive sector links. Paper presented in 13th GLOBELICS International Conference, 23-25 September, Havana Conventions Palace. 10 p.
- Suárez J, Martín G, Cepero L, Blanco D, Sotolongo J A, Savran V, Rodríguez E y Rivero J L. 2014. Local innovation processes in Agroenergy directed at the mitigation and adaptation to climate change in Cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 48 (1) 17-20
- Suárez J, Martín G, Sotolongo JA, Cepero L y Hernández R. 2012. Impacto de la producción integrada de alimentos y de energía. Contribución a la seguridad alimentaria, ambiental y energética. En: La biomasa como fuente renovable de energía en el medio rural. Eds. J Suárez y G Martín). EEPFIH, Matanzas, Cuba: 196-207.
- Suárez J, Martín G, Sotolongo JA, Rodríguez E, Savran V, Cepero L, Funes-Monzote FR, Rivero JL, Blanco D, Machado R, Martín C y García A. 2011. Experiencias del proyecto BIOMAS-CUBA. Alternativas energéticas a partir de la biomasa en el medio rural cubano. *Pastos y Forrajes*. 34 (4) 473-496.