



REVISTA CIENTÍFICA TRIMESTRAL DE CUBASOLAR

CUBASOLAR
SEGURIDAD CUBANA PARA LA PROMOCIÓN DE
LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA Y
EL RESPETO AMBIENTAL

...el mundo mejor con la energía del sol



El Movimiento de Alimentación Sostenible (MAS), grupo
Cubasolar, cuyos miembros promueven la integración
de producción y consumo de alimentos, considerado
como la agroecología y la permacultura, el uso de
energías renovables de energía (FRE) y la elaboración y co-
alimentos, sobre bases culturales, socioeducativas y co-
medioambiente para la consecución del desarrollo sosteni-



**REVISTA CIENTÍFICA de las
FUENTES RENOVABLES de ENERGÍA**

68

DIRECTOR GENERAL

Dr. Luis Bértiz Pérez

EDITORES

M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez
Ing. Jorge Santamarina Guerra

CONSEJO EDITORIAL

Dr. Luis Bértiz Pérez
M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez
Ing. Otto Escalona Pérez
Ing. Miguel González Royo
Ing. Dolores Cepillo Méndez

DISEÑO Y COMPOSICIÓN

Alejandro F. Romero Ávila

WEB MASTER

Jesús Guillermo Gil Delgado

RELACIONES PÚBLICAS

Mabel Blanco de la Cruz

CONSEJO ASESOR

Dra. Elena Vígil Santos
Dr. Conrado Moreno Figueredo
Dr. José Guardado Chacón
Dr. Deny Oliva Merecio
Dra. Dania González Couret
Lic. Bruno Henríquez Pérez
Lic. Ricardo Bértiz Valle
M.Sc. Mario A. Arrastía Ávila

Eco Solar, no. 68 / 2019

Revista científica de las
fuentes renovables de energía
abril-junio, 2019
ISSN-1028-6004
RNPS-2220



CETER



DIRECCIÓN

Calle 20, No. 4113, e/ 18A y 47
Playa, La Habana, Cuba
TEL.: (53) 72062061
E-MAIL: madelaine@cubasolar.cu
HTTP://www.cubasolar.cu



CONTENIDO

PROPUESTAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL HÁBITAT EN LA COMUNIDAD LAS TERRAZAS.....3

Isabel Escalona Rodríguez, Ariel Ferrer Fagundo, Dania González Couret,
Luis Alberto Rueda Guzmán y Natali Collado Baldoquin

LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COLOCADOS SOBRE ESTRUCTURAS O TECHOS A DOS AGUAS.....10

Luis Hilario Bértiz Pérez

BASAMENTOS DE LA ALIMENTACIÓN SOSTENIBLE. ESTUDIO DE CASO: MOVIMIENTO DE ALIMENTACIÓN SOSTENIBLE DE CUBASOLAR16

Madelaine Vázquez Gálvez

EVALUACIÓN DEL RIEGO DE PLÁNTULAS DE HENEQUÉN CON EL EMPLEO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....21

Fernando Camejo Mesa y Martha Mazorra Mestre

LA MICROCYCAS CALOCOMA, ESPECIE AMENAZADA.....27

Olga Tserej Vázquez

EVALUACIÓN DEL EFECTO AGRONÓMICO DEL EFLUENTE SÓLIDO PROCEDENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO POR DIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUALES PORCINOS EN LOS CULTIVOS DE AJO (*ALLIUM SATIVA*) Y TOMATE (*LICOPERSICUM ESCULENTUM*) VAR. L4332

Teresa Fraser Gálvez, José Luis Fuente, Miguel Fariñas, Yoel Suárez Lastre y Alfredo Curbelo Alonso

editorial
cubasolar

PROPUESTAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL HÁBITAT EN LA COMUNIDAD LAS TERRAZAS

Por Arq. Isabel Escalona Rodríguez*, Arq. Ariel Ferrer Fagundo*, Dra. C. Dania González Couret*, Dr. Luis Alberto Rueda Guzmán* y Arq. Natali Collado Baldoquin*

*Facultad de Arquitectura, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE),
Calle 114, No 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.
E-mail: isabelescalonar95@gmail.com

Resumen

La Comunidad Las Terrazas, creada en los años 60's para mejorar la calidad de vida de los campesinos, pretende llegar a constituir un modelo de comunidad rural sustentable, vinculada al ecoturismo, objetivo al cual intenta contribuir un proyecto de investigación que se desarrolla con la participación conjunta de la Universidad Tecnológica de La Habana y la Universidad de Gante en Bélgica. La ponencia expone parte del trabajo realizado en la primera etapa del proyecto, específicamente vinculado con el diagnóstico de problemas y potencialidades del hábitat en la comunidad, con vistas a proponer vías para la elevación de su calidad. A partir del trabajo de campo realizado fue posible evaluar las condiciones de habitabilidad de las viviendas y las aspiraciones de las familias. Teniendo en cuenta la elevada transferencia térmica de los elementos de hormigón que componen la envolvente vertical, se simuló el ambiente térmico interior en habitaciones de dormir con diferentes orientaciones, empleando el software Energy Plus y Open Studio. Todas las viviendas y apartamentos han sido transformados, afectando la habitabilidad de los espacios interiores. Como resultado del trabajo se propusieron acciones para mejorar la calidad habitacional y el ambiente térmico interior mediante la protección solar, incorporar fuentes renovables de energía, coleccionar agua pluvial y aprovechar los desechos sólidos.

Palabras clave: Calidad del hábitat, comunidad rural, ecoturismo, comunidad sustentable.

PROPOSALS TO IMPROVE THE HABITAT QUALITY IN LAS TERRAZAS COMMUNITY

Abstract

Las Terrazas community, created in the 60's to improve the farmers quality of life, intends to be a model of rural sustainable community, linked to ecotourism. An international project carried out by the Technological University of Havana and the Gent University, is contributing to that goal. The present paper exposes part of the work realized during the first stage, specifically related to the diagnosis of community problems and potentialities in order to propose ways to improve its quality. Based on the fieldwork carried out, it was possible to evaluate housing habitability and family aspirations. Taking into account the high thermal transfer through the concrete vertical envelope components, indoor thermal environment was simulated in bedrooms with different orientations, using Energy Plus and Open Studio software. All housing and apartment has been transformed, affecting indoor habitability. As a result of the work, some actions were proposed to improve habitational quality and thermal indoor environment by solar protection, incorporating renewable energy technologies, as well as collecting rain water and recycling solid wastes.

Key words: Habitat quality, rural community, ecotourism, sustainable community.

Introducción

La Comunidad Las Terrazas respondió a un objetivo del proceso revolucionario cubano, encaminado a mejorar la forma de vida de los campesinos, tomando como base modelos de comunidades urbanas. Se ubica en la Sierra del Rosario (Fig. 1), zona que por su valor paisajístico ha sido valorada por la Unesco en 1985 como Reserva de la Biosfera [Expediente..., 2017]. El conjunto incluye viviendas aisladas enclavadas en un terreno de uso colectivo sin parcelas definidas, y edificios multifamiliares (Fig. 2), donde por razones higiénicas no es posible la cría de animales de granja. En aras de respetar la topografía del sitio,

la mayoría de las casas y los edificios se encuentran sobre pilotes. Su naturaleza constituye un gran atractivo para el turismo, cuyo auge comenzó con la construcción del Hotel Moka, inaugurado el 28 de septiembre de 1994 [Expediente..., 2017].

Las Terrazas pretende llegar a constituir un modelo de comunidad rural sustentable, vinculada al ecoturismo, objetivo al cual intenta contribuir un proyecto de investigación que se desarrolla con la participación conjunta de la Universidad Tecnológica de La Habana y la Universidad de Gante en Bélgica. El presente artículo expone parte del trabajo realizado en la primera etapa del proyecto,

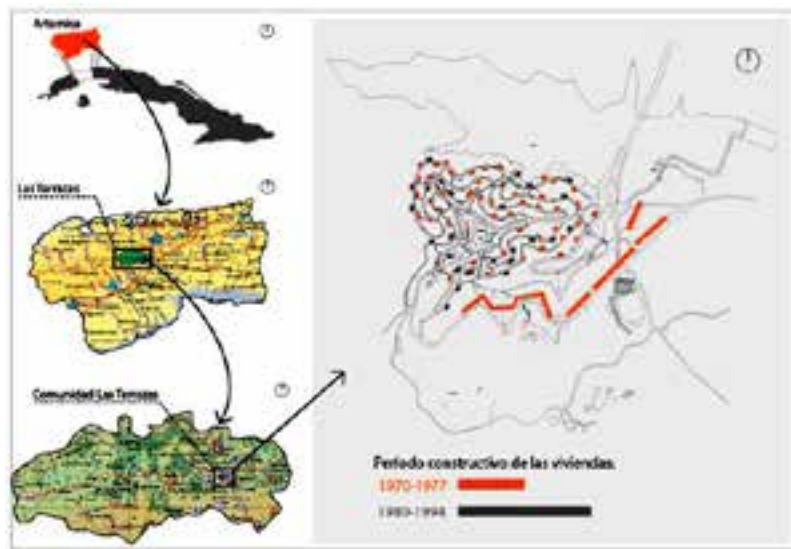


Fig. 1. Localización de la Comunidad Las Terrazas. Elaboración propia.



Fig. 2. Viviendas unifamiliares y edificios multifamiliares en la comunidad.

específicamente vinculado con el diagnóstico de problemas y potencialidades del hábitat en la comunidad, con vistas a proponer vías para la elevación de su calidad.

Materiales y métodos

Con el objetivo de evaluar las condiciones actuales de las viviendas y las familias en la comunidad Las Terrazas, se realizó un levantamiento del total de las 69 casas (viviendas unifamiliares aisladas) y de 116 apartamentos (76 % del total) en 10 edificios multifamiliares, así como entrevistas a sus habitantes. Como resultado fue posible evaluar las condiciones de habitabilidad de las viviendas y las aspiraciones de las familias, con vistas a proponer modificaciones y otras acciones para mejorar su calidad.

A partir de la información brindada por la dirección del complejo turístico, y levantamientos en el sitio, se evaluó el sistema de abasto de agua potable y la evacuación de residuales (líquidos y sólidos); el consumo eléctrico por vivienda, y las potencialidades para el empleo de fuentes renovables de energía, como, por ejemplo, el área de cubierta disponible para la ubicación de sistemas de calentamiento solar de agua y paneles fotovoltaicos.

Partiendo de la elevada transferencia térmica de la envolvente vertical ejecutada con el sistema constructivo prefabricado Sandino [NC 220-1, 2009], con muros exteriores de hormigón armado de 6 cm de espesor, se simuló el ambiente térmico interior en habitaciones de dormir con diferentes orientaciones y, por tanto, exposición a la radiación solar, empleando el software Energy Plus y Open Studio. Como no fue posible obtener los archivos climáticos correspondientes a Las Terrazas ni a otro municipio cercano en el formato (EPW) y (DDY) [Energy Plus, 2016], requerido por el Open Studio, se usaron los archivos de la estación de Casablanca [Información..., 2016], previamente comparados con los de Las Terrazas, donde por lo general las temperaturas resultan inferiores en aproximadamente 2°C, lo cual es totalmente lógico, debido a la diferencia de altura (Fig. 3).

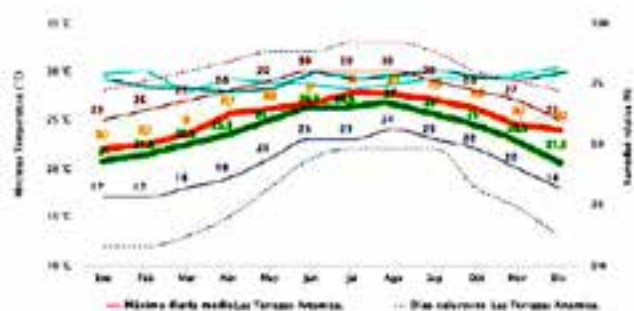


Fig. 3. Comparación entre datos meteorológicos (humedad relativa y temperatura) de Las Terrazas y Casablanca. Elaboración propia.

La simulación tuvo un carácter exploratorio encaminado a comparar la influencia de la orientación y la cantidad de paredes expuestas en diferentes momentos del año (junio, marzo – septiembre y diciembre) en la temperatura interior de las viviendas, con vistas a proponer las soluciones requeridas para mejorar el ambiente térmico en cada

caso. Es por ello que no se incluyó la carga metabólica, y se trabajó con los datos implícitos en el programa en cuanto a los materiales de la envolvente (panelería ligera) y el intercambio de aire a través de las ventanas. También se simuló las mismas situaciones reales con paredes exteriores expuestas, asumiendo la presencia de vegetación exterior con vistas a evaluar el efecto de la protección solar en la temperatura interior.

Resultados y discusión

Diagnóstico

En la comunidad predomina una cantidad de entre tres y cinco habitantes por vivienda, y los núcleos familiares de uno y dos habitantes son menos frecuentes. A partir de los resultados del trabajo de campo, las características de los núcleos familiares (cantidad de miembros y tipo de núcleo) y la cantidad de habitaciones originales de la vivienda, se identificaron 20 viviendas con familias aglomeradas (30 % del total de viviendas unifamiliares), 12 de dos habitaciones y 8 de tres habitaciones. En casi la totalidad de ellas se han realizado transformaciones espaciales para aumentar la cantidad de dormitorios, pero aún continúan presentando problemas espaciales y ambientales, que podrían atenuarse a partir de las propuestas de diseño que se han elaborado, lo cual no es posible en los 19 apartamentos (23 %) que presentan hacinamiento en los edificios multifamiliares.

El 100 % de las viviendas unifamiliares han sido modificadas por sus habitantes. Entre las principales transformaciones que presentan hoy las viviendas originales, se encuentran cambio de uso de espacios, ampliación, división, y modificación de las terminaciones. La transformación más usual es el techado del patio de servicio y el traslado de la cocina hacia esta zona, u otra dentro del perímetro de la vivienda (Fig. 4), lo cual indica que el área destinada a la cocina en el proyecto original era insuficiente. Otra de las modificaciones más importantes se refiere a los dormitorios (Fig. 5). En muchos casos se cambia la distribución espacial inicial, y las viviendas se dividen o se amplían, lo cual puede ocurrir hacia un nivel inferior en las edificaciones sobre pilotes (Fig. 6).



Fig. 4. Techado del patio de servicio y traslado de la cocina.



Fig. 5. Transformación o aumento de habitaciones.



Fig. 6. Ampliación de las viviendas hacia el sótano.

Además, se han transformado viviendas para crear espacios con nuevas funciones como galería, taller y estudio, pues existen cuatro casas en las que residen artistas que tienen allí su lugar de trabajo y exposición. También 100 % de los apartamentos en edificios multifamiliares han sido modificados. Se detectaron cuatro transformaciones principales que consisten igualmente en el techado de patio de servicio, cambio de usos de espacio, divisiones interiores, y eliminación de closets de almacenamiento.

Las principales causas de estas transformaciones son la aglomeración familiar, así como la necesaria adaptación de los espacios a las actividades domésticas y a las características particulares de la familia. Sin embargo, algunas de estas modificaciones ocasionan importantes consecuencias negativas, por ejemplo, al techar el patio de servicio, algunos espacios como el baño, e incluso dormitorios, pierden su relación directa con el exterior (Fig. 7), por lo cual se ventilan a través de la cocina y carecen de iluminación natural. Por otro lado, la ropa se lava y seca expuesta al sol en el exterior de la vivienda, incluidos los balcones de los edificios multifamiliares, según la tradición. También las subdivisiones de espacios interiores para tener más dormitorios han provocado la reducción de la sala, el comedor y el portal, que comienzan a presentar problemas de accesibilidad o han sido totalmente eliminados.

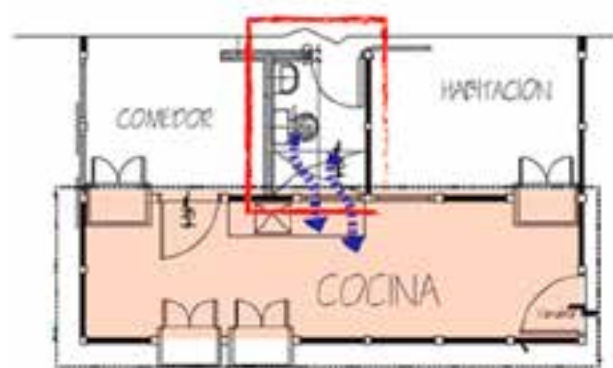


Fig. 7. Consecuencias negativas de techar el patio de servicio.

Los resultados de las simulaciones han permitido verificar que, en los espacios con una sola pared expuesta al exterior, como era de esperar, la peor orientación es el SO, seguida del SE, mientras que la mejor es la NE seguida de la NO [NC 198, 2004]. Esto es cierto de septiembre a marzo, pero en el verano (junio) las temperaturas más altas se

alcanzan en el horario de la mañana, que llegan a ser superiores hasta en 2°C con respecto al SO, e inclusive, durante el horario nocturno son 0,5°C mayores en el entorno norte que en el sur. Esto confirma la necesidad de protección solar también en el entorno norte, donde el sol incide más en el verano y se producen, por tanto, las más altas temperaturas en el período más desfavorable (Fig. 8).

Prácticamente no existen diferencias en la temperatura interior de espacios con una o dos paredes expuestas en el entorno sur y oeste, aunque en el espacio con una sola pared expuesta al NO, esta resulta ligeramente inferior. Contrariamente a lo esperado, en el entorno norte la temperatura es inferior en los espacios con dos paredes expuestas, con respecto a los que tienen una sola pared exterior. Aunque hay que profundizar más en las causas que ocasionan este resultado, es posible suponer que se debe a los índices de recambio de aire asumidos por el software, que pueden incrementarse cuando existen dos paredes exteriores con ventanas, con lo cual aumenta la evacuación del aire caliente y, por tanto, se evita la elevación de la temperatura interior (Figs. 9 y 10).

El uso de fuentes renovables de energía es hoy escaso y solo en servicios y alojamiento turístico, pero no en las viviendas. No obstante, se cuenta con suficiente superficie de cubiertas orientadas en el entorno Sur con una inclinación de 20°, favorables para la colocación de paneles y calentadores solares [López y Lill, 2007]: 1200 m² en casas y 1137 m² en edificios.

Como el agua potable solo se bombea dos veces al día en la comunidad, la población ha instalado tanques colectores semi-soterrados en el terreno ubicado por encima de la vivienda, aprovechando la topografía para el abasto de agua por gravedad. No obstante, el proyecto original no incluyó la recolección de agua pluvial en las cubiertas, de manera que, según el trabajo de campo realizado, solo 5 % de los habitantes en viviendas unifamiliares aprovechan el agua de lluvia de manera informal para algunos menesteres como el lavado de ropa. Sin embargo, la lluvia es frecuente todo el año, excepto en el mes de abril, con una precipitación mensual de aproximadamente 350 mm [Datos..., 2017].

Actualmente no se gestiona de forma adecuada la recolección y tratamiento de los desechos con vistas a su posible reúso y reciclaje. Solo se reúsan algunos residuos sólidos por parte de los artesanos locales y se emplean residuos orgánicos para la alimentación de los cerdos.

En resumen, a partir del diagnóstico realizado, se ha podido apreciar que aproximadamente la tercera parte de las familias viven en condiciones de aglomeración y que las modificaciones realizadas en la totalidad de las viviendas ocasionan problemas espaciales y ambientales como la pérdida de la relación directa del baño con el exterior. También se detectan problemas relacionados con el ambiente térmico interior y el estado técnico constructivo de las edificaciones. No existen prácticas ambientalmente amigables con respecto al uso de fuentes renovables de energía, colección de agua pluvial, producción de alimentos mediante el empleo de técnicas de permacultura y gestión de desechos.

Sin embargo, en las viviendas unifamiliares existen posibilidades de ampliación y transformación con vistas a atenuar los actuales problemas de habitabilidad. Más de 50 % de las cubiertas en las casas y 30 % en los edificios resul-

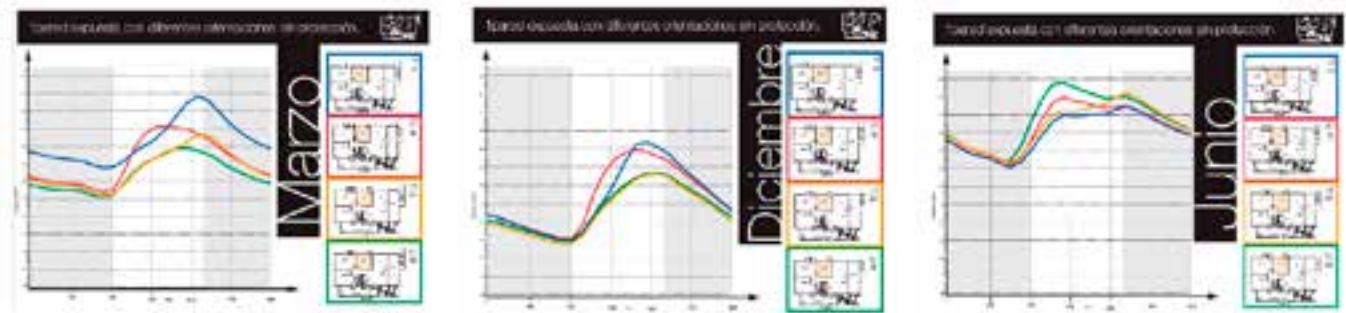


Fig. 8. Temperatura interior simulada en una habitación con una pared expuesta en diferentes orientaciones sin protección.

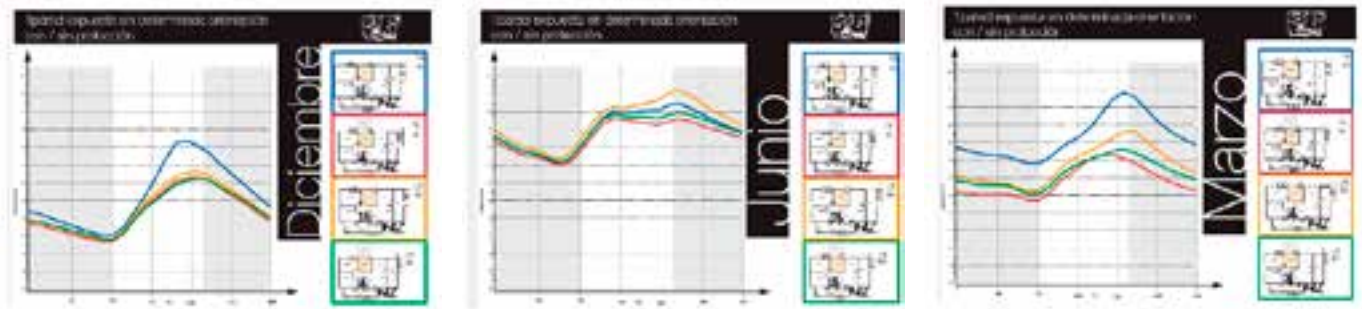


Fig. 9. Temperatura interior simulada en una habitación con una pared expuesta en diferentes orientaciones con y sin protección.

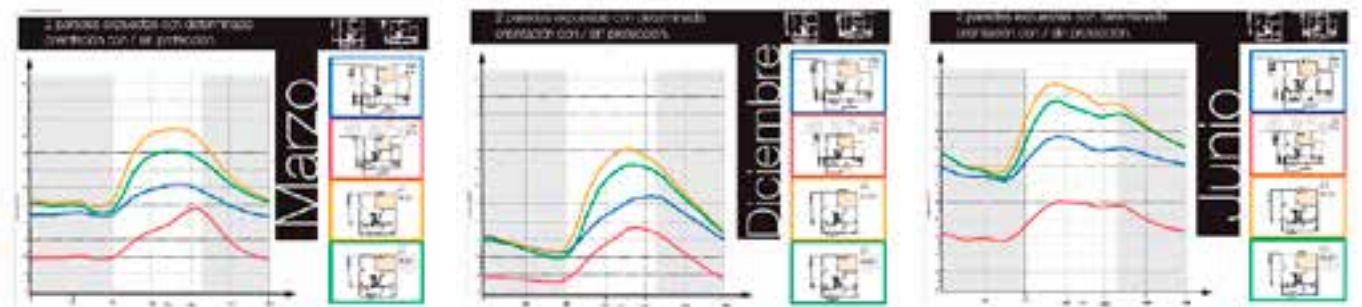


Fig. 10. Temperatura interior simulada en una habitación con dos paredes expuestas en diferentes orientaciones con y sin protección.

tan apropiadas para la adición de la tecnología solar, ya sea para el calentamiento de agua o la generación fotovoltaica, y también existen potencialidades para la colección pluvial. Por otra parte, la vegetación ofrece posibilidades de protección solar que pueden ser mejor aprovechadas. Lo más importante es que se cuenta con la disposición de la población para acometer estas acciones.

Conceptualización y soluciones

Para dar solución a los problemas detectados se han realizado propuestas de mínima intervención, que a su vez integren todos los aspectos que contribuyen a la sustentabilidad del hábitat para elevar su calidad. Se identificaron las viviendas con potencialidades para la incorporación de nuevos servicios y se proponen transformaciones para mejorar la calidad de aquellas que pueden incluir alojamiento para turistas.

Fue posible solucionar 100 % de las viviendas unifamiliares con familias hacinadas, a partir de transformaciones (división y ampliación). En las propuestas se tuvieron en cuenta las características de la vivienda, cantidad de habitaciones y estado actual (modificaciones), además de la cantidad de personas y núcleos familiares que la habitan, sus características

particulares y necesidades. Como estrategia, en cada caso se organizaron las necesidades por orden de prioridad, poniendo en primer lugar la creación de nuevas habitaciones y núcleos húmedos (Fig. 11).

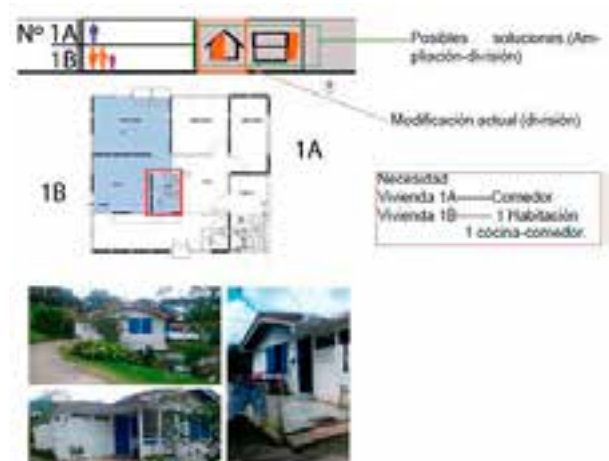


Fig. 11: Ejemplo: Viviendas 1A y 1B.

En cambio, las familias que habitan en apartamentos deberán ser reubicadas en nuevas viviendas, ya que estos no pueden ser ampliados, sino que solo admiten cambios espaciales para mejorar las condiciones ambientales interiores, creando un balcón en parte del antiguo patio de servicio, que permita la relación directa del dormitorio con el exterior (Fig. 12).



Fig. 12. Propuesta para apartamentos.

En la selección de aquellas viviendas favorables para alojamiento, se tuvieron en cuenta la iniciativa de la familia, e información brindada por la dirección del complejo. Como resultado, se encontraron cinco casas con potencialidades para ofrecer habitaciones al turismo.

Con el objetivo de disminuir las temperaturas interiores en los dormitorios, se realizaron propuestas de protección solar horizontal y vertical, tanto en viviendas como edificios, cuya efectividad fue posteriormente verificada mediante simulaciones que indican una posible reducción de la temperatura interior de entre 1 y 20 C, en dependencia del mes (Fig. 13). La protección solar también incorpora la vegetación asociada a la práctica de la permacultura [Von Werlhof, 2016] en elementos verticales (Fig. 14). Adicionalmente se propuso la incorporación de conductos de iluminación y ventilación natural (estos últimos aplicando el principio Ventury) [González, 2014] en los baños que quedaron sin relación directa con el exterior (Fig. 15).

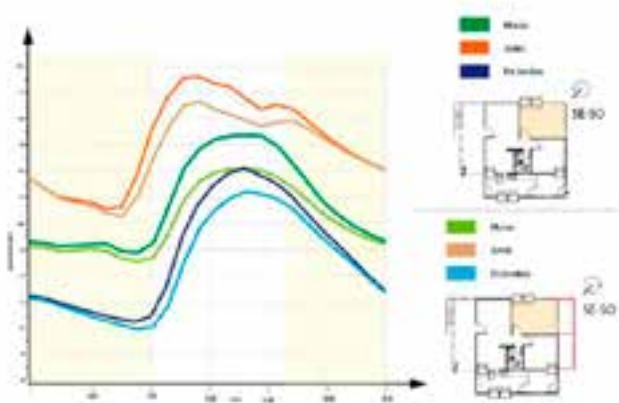


Fig. 13. Reducción de las temperaturas interiores con el empleo de elementos de protección solar horizontales y verticales.



Fig. 14. Elementos de permacultura como protección solar.



Fig. 15. Conductos de iluminación y ventilación natural en los edificios multifamiliares.

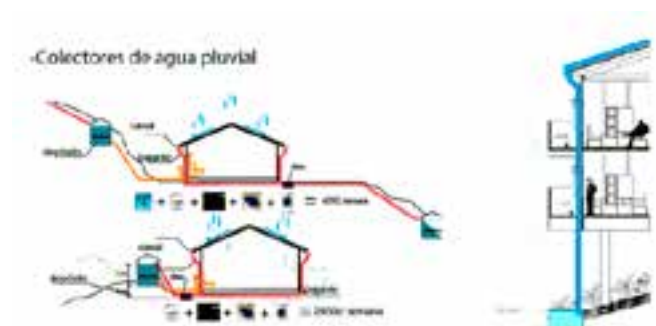


Fig. 16. Propuestas para la colección pluvial.

Se estima que con solo aprovechar 70 % de las cubiertas factibles por su orientación y su exposición al sol sin obstrucción por parte de la vegetación, es posible generar suficiente energía para las viviendas, en cuyo caso se propone un sistema fotovoltaico conectado a la red, utilizando el modelo (serie DSM-185 (23)-C), producido en Pinar del Río [Bérriz y Álvarez, 2008].

También se propusieron premisas de diseño para coleccionar y reusar el agua pluvial [Ficha..., 2018] (Fig. 16). Con la recolección de 4200 L de agua pluvial a la semana se logra almacenar una cantidad suficiente para las duchas, el inodoro, regar las plantas, limpiar y lavar, teniendo en cuenta que la superficie mínima de cubierta en viviendas es de 54 m² y se pueden coleccionar un total de 4800 L. Así mismo se elaboraron soluciones para reusar las aguas grises [Filtro..., 2018], así como para la gestión de los desechos [Destino..., 2017], incluyendo la elaboración de compost [Deffis, 1990] con los residuos orgánicos con vistas a fertilizar los cultivos verticales asociados a la vivienda.

Todas las propuestas elaboradas consideran variantes que incluyen materiales locales, naturales y reciclados. También se han propuesto soluciones para mejorar la accesibilidad en los espacios interiores de las viviendas. Tanto el diagnóstico como la elaboración de soluciones se realizó con una participación activa de la comunidad, mediante diversos intercambios y talleres (Fig.17). Esto permitió buscar respuestas a los verdaderos problemas de la población y fomentar en ellos una mayor conciencia con respecto al cuidado de su valioso entorno.



Fig.17. Trabajo participativo con la comunidad.

Conclusiones

La calidad del hábitat rural en un asentamiento ecoturístico depende de la medida en que este dé respuesta a las necesidades de sus habitantes, promueva de forma endógena la generación de ingresos, favorezca la producción de alimentos sanos y contribuya a la protección del medio.

Las viviendas en la comunidad Las Terrazas no responden ni se adaptan a las necesidades actuales de los moradores, ya que no constituyen su principal fuente de ingresos ni fomentan la producción de alimentos, no ofrecen un ambiente interior favorable y no aprovechan las fuentes renovables de energía disponibles.

Las soluciones que se ofrecen demuestran que es posible resolver los actuales problemas espaciales y el hacinamiento existente. Con la activación de nuevos servicios y la implementación de la permacultura, la vivienda puede comenzar a ser una fuente de ingresos y producción de alimentos.

El empleo de elementos de protección solar, conductos de ventilación e iluminación, sistemas de colección pluvial y tecnologías para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía contribuye a elevar la calidad de vida de la población y a proteger el medioambiente en una comunidad más sustentable.

Reconocimientos

Los autores desean agradecer al complejo turístico Las Terrazas y a la Universidad de Gante por el apoyo para la realización del presente trabajo.

Bibliografía

- BÉRRIZ, L Y M. ÁLVAREZ (2008). *Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares*, La Habana: Ed. Cubasolar, 2008. ISBN 978-959-7113-36-2.
- «Datos meteorológicos de Las Terrazas» (2017). Disponible en www.meteoblue.com, 2017 (consultado el 15 de noviembre de 2017).
- DEFFIS, A. (1990). *La casa ecológica autosuficiente para climas cálido y tropical*. México: Editorial Concepto.
- Destino de desechos sólidos y orgánicos* (2017). Disponible en www.regionales-residuos-almafuerte.com (consultado el 18 de Diciembre de 2017).
- ENERGYPLUS™ VERSION 8.6 (2016). Documentation septiembre 30, 2016.
- «Expediente Declaratoria de Las Terrazas como Bien Patrimonial» (2017). Documento inédito. Versión final 8 de enero 2017.
- Ficha técnica Captación del Agua de lluvia* (2018). Disponible en www.solucionespracticas.org.pe.com (consultado el 10 de mayo de 2018).
- Filtro casero para agua gris* (2018). Disponible en <http://iltrocasero.com> (consultado el 10 de mayo de 2018).
- GONZÁLEZ COURET, D. (2014). «Para ventilar viviendas en centros urbanos compactos». En revista *Energía y Tú*, No 66, abril – junio 2014, pp. 7 – 11. La Habana: Ed. Cubasolar.
- «Información de la Estación Meteorológica de Casa Blanca» (2016). Disponible en www.ashrae.org (consultado el 3 de enero de 2016).
- LÓPEZ, S. Y M. LILL (2007). *Guía de Integración Fotovoltaica*. Madrid: Edición de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2007.
- NC 198: 2004 (2004). «Edificaciones – Código de buena práctica para el diseño del clima interior térmico y visual».
- NC 220-1: 2009 (2009). «Edificaciones- Requerimientos de diseño para eficiencia energética-Parte 1: Envolvente del edificio».
- VON WERLHOF, CLAUDIA (2016). «La Permacultura. Definición, ética y principios. Principios básicos y su ampliación». *Caminos hacia una cultura centrada en la vida*, 2016. Disponible en www.matricultura.org / www.pbme-online.org (consultado el 15 de noviembre de 2017).

Recibido: Enero 2019

Aceptado: Febrero 2019

LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COLOCADOS SOBRE ESTRUCTURAS O TECHOS A DOS AGUAS

Por Dr. C. Luis Hilario Bériz Pérez*

*Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental,
Cubasolar
E-mail: berriz@cubasolar.cu

Resumen

En el trabajo se estudian los sistemas fotovoltaicos sobre estructuras a dos aguas desde el punto de vista de la producción de energía eléctrica, y se comparan con la producción de un campo estándar orientado al sur con 67 % de aprovechamiento del área del terreno.

En el trabajo se demuestra que la producción de electricidad en un campo a dos aguas es significativamente superior al campo estándar orientado al sur. También se demuestra que el ángulo de azimut no influye en la producción anual total del campo a dos aguas, aunque el valor óptimo lo da la orientación este-oeste, o sea, con azimut de 90 y 270 respectivamente, aunque la superioridad no es significativa. Se recomienda el uso de estructuras a dos aguas debido a la gran resistencia al viento de las mismas. Se recomienda al final determinar el costo del kilowatt-hora producido antes de tomar una decisión.

Palabras clave: Radiación solar, energía fotovoltaica, fuentes renovables de energía.

THE PRODUCTION OF ELECTRICITY IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS PLACED ON STRUCTURES OR GABLE ROOFS

Abstract

In the work, photovoltaic systems are studied on gable structures from the point of view of the production of electrical energy, and are compared with the production of a standard south-facing field with 67 % of use of the land area. The work shows that the production of electricity in a gabled field is significantly higher than the standard south-facing field. It is also shown that the azimuth angle does not influence the total annual production of the gabled field, although the optimum value is given by the east-west orientation, that is, with azimuth of 90 and 270 respectively, although the superiority is not significant. The use of gable structures is recommended due to their high wind resistance.

It is recommended at the end to determine the cost of the kilowatt-hour produced before making a decision.

Key words: Solar radiation, photovoltaic energy, renewable energy sources.

Introducción

En el artículo «Influencia de la Orientación de los Paneles Solares en la Producción de Energía Eléctrica de Sistemas Fotovoltaicos en Espacios Limitados» del propio autor publicado en el número 67 de esta revista *Eco Solar*, se avi-

saba que en este número siguiente se analizarían diferentes variantes de colocación de los módulos fotovoltaicos, entre ellas los colocados sobre naves a dos aguas.

El interés que tienen las naves con techos a dos aguas es que la mayoría de ellas que tienen techos ligeros usan

estructuras de este tipo, principalmente por su bajo costo y gran resistencia a los vientos.

En el mismo artículo se vio que el ángulo óptimo de inclinación para los sistemas acoplados a la red debería ser de 15 grados, pues uno inferior no garantizaría la autolimpieza de los módulos fotovoltaicos, y en uno mayor la cresta de las dos alas daría sombra indeseable sobre las alas contiguas a las horas tempranas y tardes.

También se vio en el artículo mencionado que se acepta mundialmente contar los efectos de la radiación solar desde el punto de vista energético a partir de los 15 grados de altitud. Por esto, un techo a dos aguas con un ángulo de 15 grados de altitud de cada ala cumple con las dos condiciones establecidas y además, garantiza la resistencia al viento.

Pero es importante conocer el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos sobre estructuras a dos aguas y principalmente, el ángulo de azimut óptimo que deben tener dichas estructuras o naves.

La producción de electricidad en los campos fotovoltaicos por unidad de área

El rendimiento de los campos con sistemas fotovoltaicos es un dato muy importante principalmente cuando el costo del terreno es alto o su extensión está limitada por alguna causa tal como los techos de los edificios.

Ya en el artículo anterior se definió que la energía eléctrica producida por el sistema solar en un mes determinado estaba dado por la fórmula:

$$EP_m = \eta_s \eta_m d k_a A_s H_T \quad (1)$$

Donde: EP_m es la energía eléctrica producida por el sistema en un mes determinado

η_s es la eficiencia del sistema que depende fundamentalmente del equipamiento utilizado tales como los inversores. Una eficiencia del sistema de 80 % es aceptable

η_m es la eficiencia del módulo fotovoltaico en potencia pico (valor de fábrica)

d es la cantidad de días del mes determinado

k_a es el coeficiente de aprovechamiento del área

A_s es el área disponible para la instalación del sistema

H_T es la radiación solar incidente en el plano del módulo

En esta fórmula, las eficiencias del sistema η_s y de los módulos η_m dependen de los componentes y de la fábrica, el valor de d depende del mes, el área A_s depende del lugar y los valores de k_a y H_T dependen tanto de la colocación como de la orientación de los módulos. Son precisamente estos dos factores, los que interesan a los efectos de este estudio sobre la producción de electricidad en los sistemas solares.

En el caso de un campo orientado al sur, se deben dejar espacios para que la fila de adelante no dé sombras a la de atrás. De ahí que no pueda aprovecharse a 100 % el espacio. Cuando no se tiene en cuenta el valor del terreno y el mismo no está limitado, se recomienda dejar un espacio tal para que no se produzcan sombras durante el año de ocho de la mañana a cuatro de la tarde hora solar. De ahí se deriva que en Cuba se utilice un aprovechamiento del área de aproximadamente 70 %. Pero si se tiene en cuenta

el costo del terreno o si el mismo está limitado, se prefiere aumentar el número de módulos y aprovechar más el área disponible, aunque el costo inicial de la instalación sea mayor, pero con un rendimiento también mayor. En esos casos, el aprovechamiento puede llegar a 90 %.

En los casos donde las instalaciones se coloquen sobre estructuras a dos aguas con un ángulo de inclinación de 15 grados, el aprovechamiento del terreno es total, o sea, 100 %. Ese es precisamente el caso analizado aquí.

Para tener determinada referencia, los valores de la producción de electricidad de los diferentes campos sobre estructuras a dos aguas, pero con diferentes ángulos de azimut, se comparan con la producción de un campo orientado al sur con un aprovechamiento del área de 67 %, típico para la ciudad de La Habana. Los datos son similares al resto del país, pues la diferencia es muy poca.

En la tabla 1 y Fig. 1 se da la producción eléctrica mensual P_{total} de un campo de una hectárea (10 mil metros cuadrados) orientado al sur para las condiciones de La Habana, con un aprovechamiento del área de 67 %. La producción de electricidad de cada mes se da en megawatts-hora (MWh) por hectárea.



Tabla 1. Producción de un campo orientado al sur con $\beta=15^\circ$

ϕ	Mes	β	γ_1	H_{T1}	γ_2	H_{T2}	H_{TC}	P_o	P_o	P_{total}
23	Enero	15	0	4,399	0	4,399	4,399	55	55	109
23	Febrero	15	0	4,714	0	4,714	4,714	53	53	106
23	Marzo	15	0	5,833	0	5,833	5,833	72	72	145
23	Abril	15	0	6,215	0	6,215	6,215	75	75	149
23	Mayo	15	0	6,099	0	6,099	6,099	76	76	151
23	Junio	15	0	5,111	0	5,111	5,111	61	61	123
23	Julio	15	0	5,321	0	5,321	5,321	66	66	132
23	Agosto	15	0	5,760	0	5,760	5,760	71	71	143
23	Setiembre	15	0	5,131	0	5,131	5,131	62	62	123
23	Octubre	15	0	4,802	0	4,802	4,802	60	60	119
23	Diciembre	15	0	4,506	0	4,506	4,506	56	56	112
	Total			5,180		5,180	5,180	757	757	1514

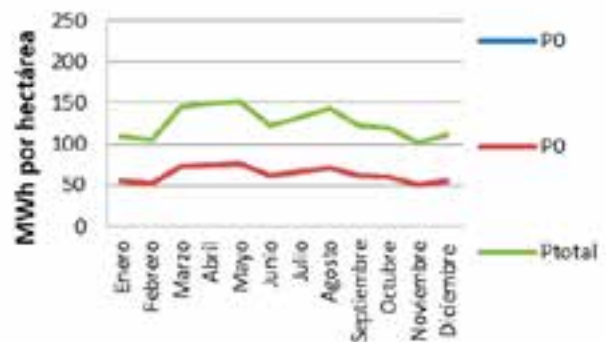


Fig. 1. Producción de un campo orientado al sur con $\beta=15^\circ$

En la tabla 2 se dan los valores de la producción de electricidad en un campo también de una hectárea con los módulos colocados sobre estructuras a dos aguas con 15 grados de inclinación y con ángulos de azimut de 0 y de 180 grados. En la misma tabla y también en la Fig. 2, se ve la producción de cada ala de la estructura, la situada a 0 grados de azimut y la situada a 180 grados. Si se compara el valor total anual de esta colocación con la de referencia al sur dada en la tabla 1, se ve la gran diferencia entre las mismas. Una hectárea orientada al sur convencionalmente produce al año 1514 MWh, mientras que la situada sobre estructuras a dos aguas con orientación en azimut 0-180 produce 2110 MWh.

Tabla 2. Producción de un campo a dos aguas

ϕ	Mes	β	γ_1	H_{T_1}	γ_2	H_{T_2}	H_{TC}	P_0	P_{180}	P_{total}
23	Enero	15	0	4,40	180	2,63	3,51	82	49	131
23	Febrero	15	0	4,71	180	3,30	4,01	79	55	135
23	Marzo	15	0	5,83	180	4,79	5,31	108	89	198
23	Abril	15	0	6,22	180	5,90	6,06	112	106	218
23	Mayo	15	0	6,10	180	6,41	6,26	113	119	233
23	Junio	15	0	5,11	180	5,62	5,37	92	101	193
23	Julio	15	0	5,32	180	5,74	5,53	99	107	206
23	Agosto	15	0	5,76	180	5,72	5,74	107	106	213
23	Septiembre	15	0	5,13	180	4,47	4,80	92	81	173
23	Octubre	15	0	4,80	180	3,55	4,18	89	66	155
23	Noviembre	15	0	4,27	180	2,66	3,46	77	48	125
23	Diciembre	15	0	4,51	180	2,56	3,53	84	48	131
	Total			5,18		4,45	4,81	1135	975	2110

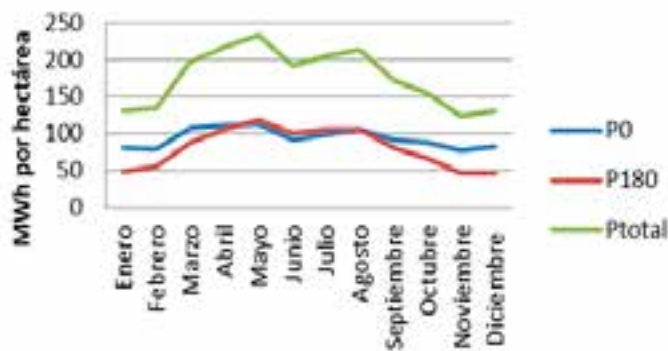


Fig. 2. Producción de un campo a dos aguas con $\beta=15$, $\gamma_1=0$ y $\gamma_2=180$

En la tabla 3 se dan los valores de la producción de electricidad de un sistema fotovoltaico de una hectárea con módulos colocados en estructuras o naves a dos aguas, las cuales tienen un ángulo de azimut de 30 y 210 grados, respectivamente. En la misma tabla, así como en la Fig. 3, se puede observar que el valor total de la ener-

gía eléctrica producida no cambia con relación al anterior, o sea, que un ángulo de azimut de 30 grados no es significativo. Además de que el cambio en la producción mensual comparado con el anterior tampoco es significativo. Se nota sin embargo una diferencia significativa en los meses de invierno entre el campo orientado a 30 grados con el orientado 210 grados, lo mismo que pasaba en el caso anterior.

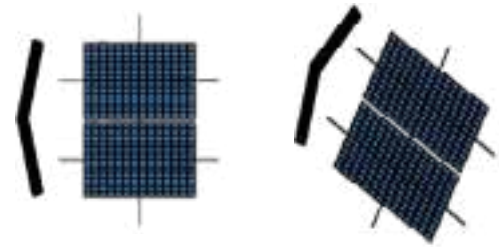


Tabla 3. Producción de un campo a dos aguas

ϕ	Mes	β	γ_1	H_T	γ_2	H_T	H_{TC}	P_{30}	P_{210}	P_{total}
23	Enero	15	30	4,275	210	2,782	3,529	80	52	131
23	Febrero	15	30	4,618	210	3,417	4,018	78	57	135
23	Marzo	15	30	5,762	210	4,867	5,315	107	91	198
23	Abril	15	30	6,187	210	5,906	6,047	111	106	218
23	Mayo	15	30	6,106	210	6,363	6,235	114	118	232
23	Junio	15	30	5,127	210	5,562	5,345	92	100	192
23	Julio	15	30	5,334	210	5,681	5,508	99	106	205
23	Agosto	15	30	5,745	210	5,704	5,725	107	106	213
23	Septiembre	15	30	5,079	210	4,521	4,800	91	81	173
23	Octubre	15	30	4,712	210	3,658	4,185	88	68	156
23	Noviembre	15	30	4,160	210	2,799	3,479	75	50	125
23	Diciembre	15	30	4,374	210	2,726	3,550	81	51	132
	Total			5,123		4,499	4,811	1123	987	2110

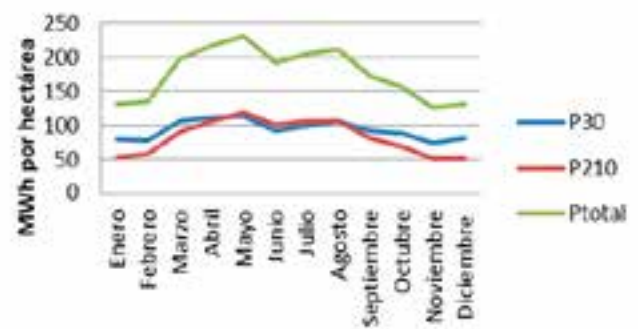


Fig. 3. Producción de un campo a dos aguas con $\gamma_1=30$ y $\gamma_2=210$

En la tabla 4 y Fig. 4 se dan los valores de la electricidad producida en un campo fotovoltaico a dos aguas con

ángulos de azimut igual a 60 y 240 grados. Igualmente que en los casos anteriores, la electricidad producida durante el año es casi la misma, con un valor insignificamente superior de 2125 MW contra 2110 en los casos anteriores. La diferencia entre las dos alas va siendo menos en los meses de invierno.



Tabla 4. Producción de un campo a dos aguas

f	Mes	b	g_1	H_1	g_2	H_2	H_{TC}	P_{60}	P_{240}	P_{total}
23	Enero	15	60	3,959	240	3,142	3,551	74	58	132
23	Febrero	15	60	4,381	240	3,716	4,048	74	62	136
23	Marzo	15	60	5,611	240	5,107	5,359	104	95	199
23	Abril	15	60	6,177	240	6,014	6,096	111	108	219
23	Mayo	15	60	6,209	240	6,353	6,281	115	118	234
23	Junio	15	60	5,256	240	5,509	5,382	95	99	194
23	Julio	15	60	5,450	240	5,645	5,547	101	105	206
23	Agosto	15	60	5,780	240	5,760	5,770	108	107	215
23	Septiembre	15	60	4,992	240	4,688	4,840	90	84	174
23	Octubre	15	60	4,507	240	3,930	4,218	84	73	157
23	Noviembre	15	60	3,880	240	3,125	3,502	70	56	126
23	Diciembre	15	60	4,025	240	3,115	3,570	75	58	133
Total				5,019		4,675	4,847	1100	1025	2125

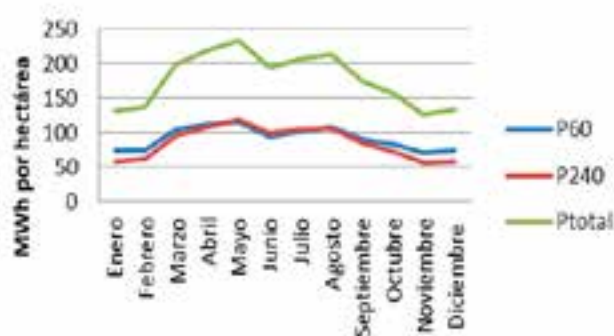


Fig. 4. Producción de un campo a dos aguas con $\beta=\gamma_1=60$ y $\gamma_2=240$

En esta tabla 5 se expresan los datos de producción de electricidad de un campo a dos aguas orientado en el eje este-oeste, o sea, con un ala hacia el este y otra hacia el oeste, o lo que es lo mismo, con ángulos de azimut iguales a 90 y 270 grados. En este caso,

Ambas curvas son iguales según se pueden apreciar en la Fig. 5, y los valores de la energía eléctrica producida tienen un valor un poco superior al resto pero el aumento no es significativo. El valor de la producción anual es de 2139. En la práctica, no hace falta presentar más variantes de án-

gulos de azimut diferentes, pues todos serían simétricos o semejantes a los señalados anteriormente.

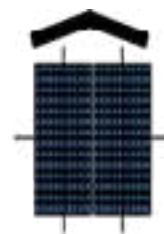


Tabla 5. Producción de un campo a dos aguas

ϕ	Mes	β	γ_1	H_1	γ_2	H_2	H_{TC}	P_{90}	P_{270}	P_{total}
23	Enero	15	90	3,558	270	3,581	3,570	66	67	133
23	Febrero	15	90	4,067	270	4,080	4,073	68	69	137
23	Marzo	15	90	5,390	270	5,398	5,394	100	100	201
23	Abril	15	90	6,129	270	6,144	6,136	110	111	221
23	Mayo	15	90	6,306	270	6,337	6,322	117	118	235
23	Junio	15	90	5,393	270	5,438	5,415	97	98	195
23	Julio	15	90	5,567	270	5,597	5,582	104	104	208
23	Agosto	15	90	5,793	270	5,823	5,808	108	108	216
23	Septiembre	15	90	4,858	270	4,887	4,872	87	88	175
23	Octubre	15	90	4,232	270	4,259	4,245	79	79	158
23	Noviembre	15	90	3,518	270	3,525	3,522	63	63	127
23	Diciembre	15	90	3,582	270	3,593	3,587	67	67	133
Total				4,866		4,888	4,877	1067	1072	2139

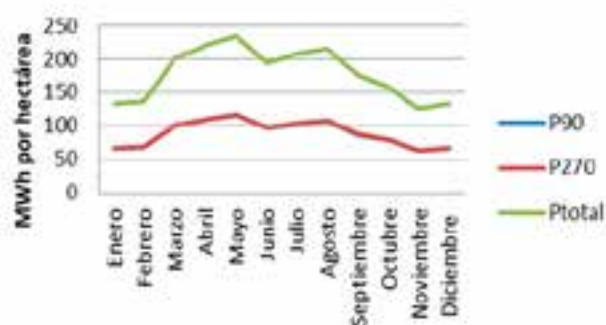


Fig. 5. Producción de un campo a dos aguas con $\gamma_1=90$ y $\gamma_2=270$

En la tabla 6 y la figura 6 se comparan los valores de la producción de electricidad en campos a dos aguas en dependencia de los ángulos de azimut entre sí y con el campo de referencia orientado al sur. El valor mínimo de la producción de electricidad en campos a dos aguas está dado por la orientación en el eje norte-sur, o sea, con un plano con azimut igual a 0 grados y otro con azimut igual a 180 grados y llega a un valor de 2110 MWh anuales por hectárea.

A su vez, el valor máximo de la producción de electricidad en este tipo de campos es cuando se orientan en el eje este-oeste, o sea, con ángulos de azimut iguales a 90 y 270 grados. Sin embargo, la diferencia entre ambos es insignificante. El valor máximo es de 2139 MWh anuales por hectárea.

Tabla 6. Valores comparativos de la producción de electricidad

La Habana	Sur	0° 180°	90° 270°
Mes	P _{total}	P _{total}	P _{total}
Enero	109	131	133
Febrero	106	135	137
Marzo	145	198	201
Abril	149	218	221
Mayo	151	233	235
Junio	123	193	195
Julio	132	206	208
Agosto	143	213	216
Septiembre	123	173	175
Octubre	119	155	158
Noviembre	102	125	127
Diciembre	112	131	133
TOTAL	1514	2110	2139

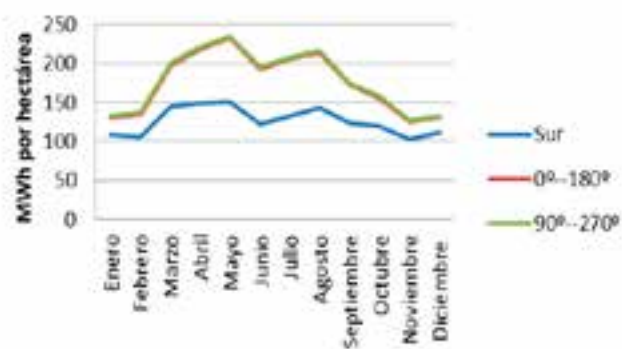


Fig. 6. Comparación de la producción de La Habana

Sin embargo, se hace evidente la gran diferencia en la producción de electricidad de los campos a dos aguas con el campo orientado al sur con un aprovechamiento de 67 % del área. El campo orientado al sur produce solamente 1514 MWh al año por hectárea.

Ya en trabajos anteriores se vio que en Cuba, debido a que es alargada y estrecha y la latitud varía solamente 3 grados, la producción de un parque fotovoltaico en cualquier lugar del país producía aproximadamente lo mismo. Con el objetivo de poder comparar, se dan en la tabla y figura 7 los valores de la producción de campos similares a los anteriores, pero situados en Santiago de Cuba.

Cuando se compara esta tabla 7 con la 6 se hace evidente que las diferencias entre las mismas no son significativas y lo que vale para un lugar vale para el otro. Así, la producción de electricidad en Santiago de Cuba en un campo orientado al sur sube 6 % con relación a La Habana, mientras que la producción de electricidad en un campo a dos aguas con orientación norte-sur es mayor 2 % y en un campo con orientación este-oeste es también de solo 2 % mayor.

Tabla 7. Valores comparativos de la producción de electricidad

Santiago de Cuba	Sur	0° 180°	90° 270°
Mes	P _{total}	P _{total}	P _{total}
Enero	120	139	141
Febrero	114	141	143
Marzo	154	203	206
Abril	156	219	222
Mayo	156	231	233
Junio	126	191	192
Julio	136	203	205
Agosto	149	213	216
Septiembre	130	176	178
Octubre	128	161	164
Noviembre	112	132	134
Diciembre	123	141	143
TOTAL	1604	2151	2179

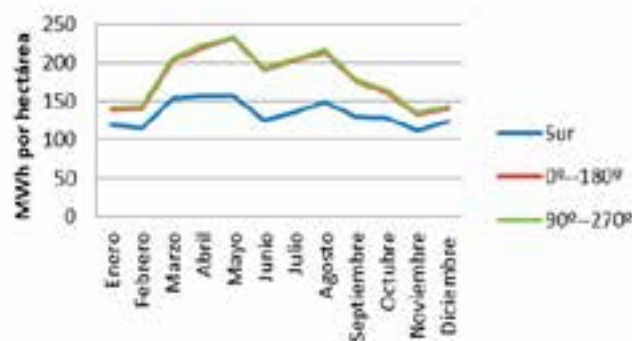


Fig. 6. Comparación de la producción de Santiago de Cuba

Conclusiones

El rendimiento de un campo fotovoltaico sobre estructura a dos aguas es en todos los meses considerablemente superior al de un campo orientado al sur con un aprovechamiento de 67 % de su área.

El valor anual de la energía eléctrica producida en un campo a dos aguas es 40 % superior al producido en un campo estándar orientado al sur.

La influencia del ángulo de azimut sobre la producción de un campo fotovoltaico a dos aguas no es significativa. El valor mínimo lo tiene un campo orientado en el eje norte-sur con una ala con azimut de 0° y la otra con azimut de 180° y el máximo lo tiene un campo orientado en el eje este-oeste con una ala con azimut de 90° y la otra con azimut de 270°, pero la diferencia es de solo 1,3 %.

Las estructuras a dos aguas, ya sean formando naves o directamente sobre pisos han demostrado tener una gran resistencia al viento, lo que las hacen prometedoras para la producción fotovoltaica en Cuba.

Antes de tomar una decisión es importante tomar en cuenta otras variantes, principalmente la de aumentar el aprovechamiento del terreno en campos orientados al sur aunque haya sombras en algunos días de invierno y conocer el costo del kilowatt-hora producido.

Bibliografía

- BÉRRIZ PÉREZ, LUIS (2019). «Influencia de la Orientación de los Paneles Solares en la Producción de Energía Eléctrica de Sistemas Fotovoltaicos en Espacios Limitados». En revista *Eco Solar* No 67. La Habana: Ed. Cubasolar.
- BÉRRIZ PÉREZ, LUIS Y MANUEL ÁLVAREZ GONZÁLEZ (2018). *Cálculo de la distancia entre filas de paneles solares fotovoltaicos*. *Eco Solar* No 64: abr.-jun. La Habana: Ed. Cubasolar.
- BÉRRIZ PÉREZ, LUIS; MANUEL ÁLVAREZ GONZÁLEZ; WILFREDO PÉREZ BERMÚDEZ Y JESÚS MIGUEL IGLESIAS FERRER (2016). *Manual de calentadores solares*. 2da ed. La Habana: Ed. Cubasolar.
- BÉRRIZ PÉREZ, LUIS Y ÁLVAREZ GONZÁLEZ, MANUEL (2004). «Influencia del ángulo de inclinación de una superficie captadora solar sobre la radiación incidente». En revista *Eco Solar* No 8: abr.-jun La Habana: Ed. Cubasolar.
- DUFFIE J. A. AND W. A. BECKMAN (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2nd edn. New York: Wiley Interscience.
- STOLIK NOVYGRAD DANIEL (2019). *Energía fotovoltaica para Cuba*. La Habana: Ed. Cubasolar.

Recibido: Enero 2019

Aceptado: Febrero 2019

BASAMENTOS DE LA ALIMENTACIÓN SOSTENIBLE. ESTUDIO DE CASO: MOVIMIENTO DE ALIMENTACIÓN SOSTENIBLE DE CUBASOLAR

Por **M. Sc. Madelaine Vázquez Gálvez ***

* Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental
E-mail: madelaine@cubasolar.cu

Resumen

El trabajo expone las consideraciones epistemológicas del término «Alimentación sostenible» con un enfoque integrador. Expresa lo innovador y pertinente de este concepto, en el que la alimentación exhibe un enfoque más abarcador, con una notable visión ambientalista. Refiere las contradicciones del actual escenario alimentario, y su interrelación con la preservación de los recursos naturales del planeta. Argumenta las bases de la agroecología en Cuba, como sistema viable desde el punto de vista económico, ambiental y social. Describe la iniciativa de la creación del Movimiento de Alimentación Sostenible, grupo de trabajo de Cubasolar, y los resultados alcanzados como red nacional.

***Palabras clave:** Alimentación sostenible, agroecología, educación alimentaria y nutricional, Movimiento de Alimentación Sostenible.*

BASES OF SUSTAINABLE FOOD. CASE STUDY: CUBASOLAR SUSTAINABLE FOOD MOVEMENT

Abstract

The work exposes the epistemological considerations of the term «Sustainable food» with an integrative approach. Expresses the innovative and pertinent of this concept, in which food exhibits a more comprehensive approach, with a remarkable environmentalist vision. It refers the contradictions of the current food scenario, and its interrelation with the preservation of the planet's natural resources. It argues the bases of agroecology in Cuba, as a viable system from the economic, environmental and social point of view. It describes the initiative for the creation of the Sustainable Food Movement, Cubasolar working group, and the results achieved as a national network.

***Key words:** Sustainable food, agroecology, food and nutrition education, Sustainable Food Movement.*

Introducción

Desde los tiempos en que el Homo sapiens fabricó su primera herramienta, hasta hace pocos siglos, los seres humanos fueron cazadores-recolectores de alimentos, plenamente condicionados a las características de cada entorno. En un período relativamente cercano se produjeron cambios radicales que transformaron a fondo la alimentación humana. El primer salto histórico en términos de abastecimiento de víveres fue la primera revolución

agrícola hace unos diez mil años, y se caracterizó por la domesticación de plantas y animales seleccionados, el pastoreo y la creación de asentamientos relativamente estables. El segundo gran impacto lo aportaron las revoluciones científica e industrial, que comenzaron hace cuatrocientos años [Vázquez, 2013].

Según FAO, «En los próximos 35 años la agricultura se verá expuesta a una confluencia de presiones sin precedentes, tales como un aumento de 30 %, de la población

mundial, una creciente competencia por recursos de tierra, agua y energía cada vez más escasos, así como la amenaza creciente del cambio climático. Se estima que para atender las necesidades de una población que, según se prevé, llegará en 2050 a 9300 millones de habitantes y dar respaldo a cambiantes modalidades de alimentación, la producción anual de alimentos deberá aumentar de los 8400 millones de toneladas actuales a casi 13 500 millones de toneladas. Lograr ese nivel de producción a partir de una base de recursos naturales ya mermada en proporciones graves, será imposible a menos que nuestros sistemas de alimentación y agricultura experimenten profundos cambios» [FAO, 2015].

En tal sentido, una buena parte de lo que se produce se pierde y desperdicia en el trayecto del laboreo al consumo. En 2011, la FAO estimaba que aproximadamente un tercio de los alimentos del mundo se perdían y desperdiciaban cada año. Por ello, se ha incluido en la meta 12.3 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible su paulatina reducción. Se entiende como pérdida de alimentos la disminución en la cantidad o calidad de los alimentos como resultado de las decisiones y acciones de los proveedores en la cadena alimentaria, y excluye a la red minorista; mientras que el desperdicio de alimentos se refiere a la disminución en la cantidad o calidad de los alimentos como resultado de las decisiones y acciones en la esfera minorista, e incluye a los consumidores [FAO, 2019].

Por otra parte, en el siglo xx la visión sobre la alimentación tenía un enfoque marcadamente de salud, orientado a la nutrición y la higiene de los alimentos. Los nutrientes y sus calorías, junto a su influencia en la salud humana, eran los indicadores básicos del acto alimentario. Los aspectos nutricionales y energéticos del alimento enfatizaban en los valores cuantitativos. Se sobreestimaba el consumo de carnes y los alimentos chatarra predominaban en el gusto y preferencias alimentarias de las grandes poblaciones.

En el caso de la gastronomía, en la primera mitad del siglo xx hubo un predominio de técnicas más convencionales en la elaboración de alimentos, mientras que fundamentalmente en la última década de ese siglo. Se produce un boom alimentario con prevalencia del consumo de vegetales y frutas, por su reconocida acción antioxidante. La cocina empieza a evolucionar aceleradamente hacia formas más novedosas, naturales y de mayor sofisticación, según las tendencias. Se reconoce una nueva cocina (*nouvelle cuisine*), con precursores como Paul Bocuse, leyenda viviente y el padre de muchos de los cocineros franceses.

En el siglo xxi el concepto de alimentación comienza a cobrar un significado más amplio, conducente a una mayor responsabilidad y a pensar lo que se come. La frase del granjero estadounidense Wendell Berry, referida a que «Comer es un acto agrícola» adquiere un significado especial y convoca a reflexiones profundas.

Alimentación y sostenibilidad

Para garantizar un abordaje acertado del concepto de «Alimentación sostenible», es necesario esclarecer el propio concepto de sostenibilidad, que cada vez cobra mayor relevancia en el lenguaje discursivo mundial. «En ecología, sostenibilidad describe cómo los sistemas bio-

lógicos se mantienen productivos con el transcurso del tiempo. Se refiere al equilibrio de una especie con los recursos de su entorno. Por extensión se aplica a la explotación de un recurso por debajo de su límite de renovación. Desde la perspectiva de la prosperidad humana y según el Informe Brundtland de 1987, la sostenibilidad consiste en satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades» [Wikipedia, 2019]. El «oxímoron» que encarna el término de desarrollo sostenible nos coloca ante nuevos desafíos, pues presuntamente la sostenibilidad debe garantizar tres pilares esenciales que son la protección medioambiental, el desarrollo social y el crecimiento económico (Fig. 1). La necesidad de generar propuestas de solución a los impactos generados por sistemas económicos capitalistas, con énfasis en el libre mercado, basados en: la máxima producción, el consumo, la explotación ilimitada e irracional de recursos y el beneficio, como único criterio de la buena marcha económica, han demostrado que son insostenibles e incompatibles con la realidad de un planeta con recursos limitados, el cual no puede suministrar indefinidamente los recursos que esta explotación exige [CEUPE, 2019].



Fig. 1. Desarrollo sostenible.

Fuente: CEUPE, 2019.

Cuando se aborda el término de alimentación sostenible, sin duda hay que reconocer su carácter complejo. Por un lado la alimentación es un proceso biopsicosocial que abarca múltiples dimensiones. Se manifiesta en aspectos cognitivos, conductuales y afectivos, lo que presupone su estrecha relación con factores económicos, históricos y socioculturales. Cuando se califica como sostenible se eleva por encima de lo satisfactorio y saludable. Con una mirada obligatoria se proyecta hacia el análisis de las fuentes de alimentos, con un vínculo hacia las formas de producción en la que la agricultura deviene campo de actuación preponderante. Es por ello que en buena medida, en dependencia de los sistemas agrícolas, la alimentación podrá ser sostenible o no. Se necesita también de una agricultura sostenible para garantizar estos presupuestos.

Se reconoce que la llamada Revolución Verde incrementó las producciones agrícolas en varias regiones del planeta, mediante la utilización de variedades de alto rendimiento, riego y altos niveles de insumos químicos. Por

ejemplo, ello trajo como resultado que entre 1975 y 2000 hubiera en Asia Meridional un aumento de más de 50 % del rendimiento de los cereales [FAO, 2015]. Sin embargo, otros males vinieron aparejados con esta Revolución y marcan la insostenibilidad del modelo alimentario actual.

Sin duda, se exacerba el hambre, la pobreza, las desigualdades sociales y la malnutrición; a escala global se contrastan otros factores como las dietas inadecuadas, el consumo irresponsable, la escasez de la tierra, la degradación y el agotamiento de los suelos, la escasez de agua y su contaminación y la pérdida de la biodiversidad. Al respecto, Carlo Petrini, presidente de Slow Food International, enfatiza: «Están desapareciendo los verdaderos productores de la comida, de eso hay que hablar. Este sistema alimentario criminal nos ha llevado a esta situación dramática. En 118 años hemos perdido 70 % de la biodiversidad, son miles y miles de frutas, hortalizas y razas de animales que se pierden por no ser consideradas productivas. ¿Qué futuro les espera a nuestros niños? ¡No vamos a comer celulares ni textos de internet! Necesitamos urgente un cambio de paradigma» [Sepulveda, 2018].

La producción y la cadena de suministro de alimentos representan aproximadamente 30 % del consumo energético mundial total, la agricultura utiliza 11 % de la superficie del planeta y la agricultura de regadío representa 70 % del total de extracciones de agua a escala mundial. Si no se mejora la eficiencia, se espera que el consumo de agua para uso agrícola aumente en 20 % para 2050 [ONU, 2014]. El sector de la agricultura, silvicultura y otros usos del suelo deviene responsable de alrededor de un cuarto de las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero (GEI) netas, principalmente procedentes de la deforestación, las emisiones agrícolas procedentes del suelo y la gestión de nutrientes y de la ganadería [IPCC, 2014].

Se considera que las dietas sostenibles contribuyen a proteger y respetar la biodiversidad y los ecosistemas, son culturalmente aceptables, económicamente equitativas y accesibles, asequibles, nutricionalmente seguras y saludables y optimizan los recursos naturales y humanos. La mayoría de los estudios coinciden en que para lograr que la alimentación sea sostenible se deben considerar varios factores:

- Aumentar la ingesta de frutas y vegetales.
- Uso óptimo de los suelos y disminución de la huella hídrica.
- Uso de las fuentes renovables de energía en la producción de alimentos.
- Preferir alimentos locales y de temporada (kilometro cero).
- Reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos.
- Consumir pescado de reservas sostenibles solamente.
- Reducir el consumo de carne roja y procesada, alimentos altamente procesados y bebidas azucaradas [Arce, 2018].

Otros factores a juicio de la autora se refieren a:

- Comer en familia: Sin duda el carácter psico-social del alimento, invita a la «comensalidad» y el intercambio dentro del grupo familiar. Es el acto que completa el

ciclo, en el que se consolidan los valores afectivos y el mantenimiento de la comunicación y las tradiciones familiares.

- Considerar los presupuestos de género y equidad: Tradicionalmente la mujer ha asumido el acto de cocinar y el laboreo agrícola en el trabajo de las comunidades, lo que se mantiene en gran medida vigente. Sin embargo, la modernidad exige cada vez más el compartimiento de dichas tareas entre ambos sexos, así como eliminar las desigualdades en la esfera doméstica y laboral, la discriminación y la vulnerabilidad de determinados sectores.
- Elevar la educación alimentaria y nutricional de las poblaciones: El aumento de las enfermedades crónico-degenerativas presupone el despliegue de políticas educacionales, a favor de incrementar la responsabilidad del consumo y los aspectos cognitivos del acto alimentario para una mejor salud humana y planetaria.
- Conectar al agricultor con el consumidor: Aspirar a la meta que el consumidor se convierta en coproductor, creando un «sistema de coproducción de proximidad», que conecte y una los productores locales con los consumidores locales.
- Preservar las tradiciones: Las costumbres alimentarias, los modos de cultivación y de cocinar, junto a la preservación del paladar histórico, forman parte del acervo mundial que mucho puede aportar en el logro de la sostenibilidad social.
- Privilegiar la agroecología como la agricultura del futuro: Sin duda la agroecología deviene modelo de cultivación en armonía con los ecosistemas.

Agroecología en Cuba

La agricultura cubana tiene como antecedentes un sistema altamente convencional, marcada por factores históricos y socio económicos. Cruz *et al.* [2006: 15] la describen así: «Durante siglos, nuestra cultura agraria se ha caracterizado, primero, por una mano de obra esclava que rechazaba el trabajo agrícola; más adelante por una baja proporción de tierra cultivada, predominio del monocultivo (caña y ganadería), una estructura social en la que prevalece, como fuerza productiva, el obrero agrícola y no el campesino, así como un modelo de producción dirigido a la exportación y a satisfacer las necesidades internas mediante la importación de alimentos».

Se reconoce el Periodo Especial o crisis económica en Cuba como la etapa en que la Agroecología cobra un auge que dejó un legado de importantes experiencias a la agricultura cubana, con ejemplos irrefutables de su carácter sostenible. Cuando se analiza el caso de Cuba se constata que es el único país que transita de un modelo agrícola convencional basado en el monocultivo, altos insumos importados y aplicación de fuertes subsidios, hacia otro modelo más descentralizado, con predominio de la diversificación agraria, los bajos insumos y el uso intensivo de los recursos naturales disponibles. La transición hacia una agricultura sostenible que tiene lugar en Cuba desde 1990, ha favorecido el desarrollo de la innovación tecnológica para adaptar los sistemas agrícolas a los limitados insumos externos disponibles [Funes, 2009].

Por otra, parte, el problema de la importación de alimentos no se ha superado y hoy en día se mantienen índices elevados que ascienden a 70 % del total de su disponibilidad. En este sentido es válido destacar que la agricultura familiar en el país aporta más de 75 % de los alimentos que se producen en Cuba, e históricamente ha mantenido prácticas tradicionales y agroecológicas que han posibilitado un uso más eficiente de la tierra y una mejor conservación de los suelos con relación a los sistemas agrícolas convencionales de la empresa agrícola. Muchas de estas familias campesinas han demostrado la viabilidad de desarrollar sistemas autosustentables de producción de alimentos [Vázquez y Casimiro, 2019].

Diversos factores han coadyuvado a su desarrollo y entronización en el discurso del desarrollo de la agricultura en Cuba [Casimiro, 2016], tales como:

- La aplicación de la estrategia de Campesino-Campesino, por la Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP).
- El Programa de Agricultura Urbana y Suburbana.
- Los proyectos de colaboración internacional relacionados con desertificación y sequía, conservación de suelos y rescate de su capacidad productiva, producción local de alimentos, diversidad y semillas, minindustria de vegetales y frutas, entre otros.
- La promulgación de los Decretos Ley 259/2008 y 300/2012, que permitieron la entrega en usufructo de más de 1,5 millones de hectáreas de tierras ociosas a productores.
- El desarrollo de un mercado de insumos biológicos en marcha.
- La descentralización del mercado de otros insumos y útiles que está en proceso de instrumentación.
- El otorgamiento de créditos, el incremento de precios a productos agropecuarios que se acopian por parte del Estado.
- La base técnica y tecnológica existente en las universidades y los centros de investigación y su vínculo con la agricultura.

Todo ello va creando las bases para el desarrollo de una agricultura familiar campesina agroecológica que garantizará el avance con pasos firmes hacia una seguridad y soberanía alimentaria en el país. El gobierno cubano ha previsto en su estrategia de desarrollo lograr la disminución gradual de importaciones de alimentos, y la Agroecología ha demostrado la factibilidad de cumplimentar este desafío.

Movimiento de Alimentación Sostenible

Cubasolar es la Sociedad Cubana para la Promoción de las Fuentes Renovables de Energía y el Respeto Ambiental, es una Organización No Gubernamental, cuyo organismo de referencia es el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, de acuerdo con lo establecido en la Ley No.54, del 27 de diciembre de 1985, Ley de Asociaciones, y su Reglamento, del 14 de julio de 1986, así como otras disposiciones legales pertinentes. Mantiene relaciones de coordinación a través de la Academia de Ciencias

de Cuba, y tiene como objetivo fundamental contribuir al desarrollo de las actividades encaminadas al conocimiento y aprovechamiento racional de las fuentes renovables de energía, es decir, la energía solar en sus diferentes manifestaciones: la biomasa, el biogás, la energía hidráulica, del mar y la eólica, la solar fotovoltaica, la solar térmica, así como su aprovechamiento pasivo, en la solución de los problemas económicos y sociales del país; y el desarrollo de acciones para la protección del medioambiente.

Cubasolar asume como uno de sus objetivos fundamentales coadyuvar a establecer nexos entre los conceptos de agua, alimentación y energía, mediante proyectos de sostenibilidad energética enfocados a la producción de alimentos. Es por ello que en 2018 crea el Movimiento de Alimentación Sostenible (MAS), como forma de viabilizar acciones relacionadas con la obtención de producciones alimentarias suficientes y de calidad, con las menores afectaciones al suelo y al medioambiente general. El MAS es un grupo de trabajo cuyos miembros promueven la integración de los procesos de producción y consumo de alimentos, considerando fundamentos como la agroecología y la permacultura, el uso de las fuentes renovables de energía (FRE) y la elaboración y conservación de alimentos, sobre bases culturales, socioeducativas y de la defensa del medioambiente para la consecución del desarrollo sostenible. Este grupo, continuador de los preceptos de *Slow Food International* (www.slowfood.com) en la defensa del alimento «bueno, limpio y justo», e inspirado en los meritorios avances de la agroecología en Cuba, ha desarrollado un trabajo sostenido, capaz de convocar diferentes enfoques productivos y profesionales que han logrado con sus resultados posicionar una vez más el nombre de Cuba en el campo internacional en dicha materia [Vázquez y Pérez, 2019].

El grupo abarca a agricultores, energéticos, cocineros, académicos, educadores, agroecólogos, gestores, gastronómicos, investigadores y usuarios de tecnologías del biogás, que laboran en las áreas asociadas a los temas de agroecología, alimentación, cultura y medioambiente. Sus activistas están nucleados en proyectos dirigidos al rescate de las tradiciones alimentarias, a la promoción de nuevas formas de elaborar los alimentos, a la educación por el respeto a la naturaleza, al fomento de una agricultura sobre bases agroecológicas, a la enseñanza y creación de hábitos alimentarios sanos en las nuevas generaciones, la defensa de la biodiversidad y al desarrollo de acciones para enfrentar el cambio climático.

El trabajo realizado se organiza en diversos ejes, que son:

1. Mercado de la Tierra: Tiene lugar en la Finca Vista Hermosa, en los alrededores de La Habana. Un lugar de más de 60 hectáreas que forma parte de la comunidad Slow Food desde 2018. Se destaca la venta de productos cubanos como quesos, miel, vinos, pan, conejo pardo cubano, huevos de codorniz, etc. Con recetas y talleres, sumados a la oferta de libros, sirve como plataforma de visibilidad del trabajo realizado por Slow Food en Cuba. Un espacio de intercambio y socialización para todos los participantes a través de

oferta de productos, gastronomía, presencia académica, la cultura y la interacción con la naturaleza del lugar de manera sana, justa y limpia.

2. Proyecto Finca Slow: En aras de contribuir a la estrategia de desarrollo del MAS, se ha creado en Cuba la categoría de Fincas Slow de Cuba, cuyas características configuran un segmento especial de fincas en el que convergen diversas manifestaciones con carácter sistémico. La aplicación de técnicas agroecológicas, la conservación de clones y cultivares de cultivos y razas de animales, la añadidura de valores agregados a las producciones y la salvaguarda de estos ecosistemas, entre otras, colocan a este modelo de fincas cubanas familiares en una posición de relevancia. El proyecto está coordinado por una comisión formada por seis integrantes y un responsable. Actualmente han sido designadas como Finca Slow: Finca del Medio (Taguasco, Sancti Spiritus), Finca La China (La Habana), Finca Vista Hermosa (La Habana) y Finca El Rosal (La Habana).
3. Comunicación: Visualiza las actividades de esta alianza en diversos medios italianos y cubanos. Mantiene estrecha relación con el grupo de Cubapaladar (www.cubapaladar.org).
4. Alianza de Cocineras y Cocineros: Reúne a varios chefs reconocidos en Cuba, así como productores y elaboradores. Realizan talleres, cenas y demostraciones gastronómicas.
5. Gestión del Conocimiento: Realiza acciones de capacitación en materia de nutrición, alimentación sostenible y cambio climático, entre otras. Atención a estudiantes de otros países.
6. Red de Jóvenes: Cuenta con el apoyo del grupo de Jóvenes agroecólogos de la ACTAF (Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales).
7. Arca del Gusto: Hasta el presente el grupo ha catalogado 41 productos para el Arca del Gusto Internacional, y 15 están en proceso [Vázquez, 2018].
8. Proyectos: El grupo prepara proyectos de colaboración Internacional, para la búsqueda de financiamientos a las actividades.

Conclusiones

La alimentación sostenible deviene campo de actuación de carácter complejo, y de gran pertenencia en el análisis del desarrollo sostenible. La agricultura es uno de sus pilares esenciales, aunque no el único.

El sistema alimentario actual genera grandes contradicciones que exigen la aplicación de política consensuada a escala global, para disminuir sus efectos en el cambio climático y mejorar la salud de las personas.

La educación alimentaria y nutricional deviene herramienta clave para incrementar la responsabilidad en la producción y consumo de alimentos.

La agroecología en Cuba ha demostrado la factibilidad de responder satisfactoriamente a los requerimientos actuales del Estado cubano para la disminución de la importación de alimentos y el logro de mayores rendimientos agrícolas en armonía con el entorno.

El Movimiento de Alimentación Sostenible, grupo de trabajo de Cubasolar, ha logrado la creación de una red

que defiende un modelo de producción y consumo de alimentos, basado en la responsabilidad, la preservación de las tradiciones, el uso de las energías renovables, la conservación de alimentos, la educación alimentaria y nutricional, entre otros.

Bibliografía

- ARCE, GONZALO (2018). «Alimentos sostenibles: su definición y papel en la nutrición y la salud». Visto en <https://nutricion-deporte.com/alimentos-sostenibles-definicion-papel-la-nutricion-la-salud>
- CASIMIRO RODRÍGUEZ, LEIDY (2016). «Necesidad de una transición agroecológica en Cuba, perspectivas y retos». En revista de *Pastos y Forrajes*, vol.39, No 3, Matanzas, jul.-set. 2016.
- CEUPE (2019). «Sostenibilidad, un concepto necesario». Visto en: <https://www.ceupe.com/blog/sostenibilidad-un-concepto-necesario.html>
- CRUZ, MARÍA CARIDAD, ROBERTO SÁNCHEZ MEDINA Y CARMEN LÓPEZ CABRERA (2006). *Permacultura criolla*. La Habana: Fundación Antonio Núñez Jiménez de la Naturaleza y el Hombre.
- FAO (2015). «Construyendo una visión común para la agricultura y alimentación sostenibles». Visto en: <http://www.fao.org/3/a-i3940s.pdf>
- FAO (2019). «Pérdida y desperdicio de alimentos». Consultado en: <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/es/>
- FUNES MONZOTE, FERNANDO R. (2009). *Agricultura con futuro*. Matanzas: Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey.
- IPCC (2014). «Cambio climático 2014. Mitigación del cambio climático. Resumen para responsables de políticas». Consultado en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG3AR5_SPM_brochure_es-1.pdf
- ONU (2014). «Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2014: agua y energía, datos y estadísticas». Consultado en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000226961_spa
- SEPÚLVEDA RUÍZ, LUCÍA (2018). «Carlo Petrini: Gastronomía es política contra el sistema alimentario criminal». Visto en: <https://www.alainet.org/es/articulo/190517>
- VÁZQUEZ GÁLVEZ, MADELAINE (2013). «Seguridad alimentaria y fuentes renovables de energía». En revista *Eco Solar* 45. La Habana: Ed. Cubasolar.
- VÁZQUEZ GÁLVEZ, MADELAINE (2018). «El Arca del Gusto en Cuba». En revista *Eco Solar* 64. La Habana: Ed. Cubasolar.
- VÁZQUEZ GÁLVEZ, MADELAINE Y LEIDY CASIMIRO RODRÍGUEZ (2019). «Cultura alimentaria en fincas familiares cubanas beneficiadas por el proyecto BIOMAS Fase III». En revista *Eco Solar* 67. La Habana: Ed. Cubasolar.
- VÁZQUEZ GÁLVEZ, MADELAINE Y NÉLIDA PÉREZ HERNÁNDEZ (2019). «Movimiento de Alimentación Sostenible». En revista *Energía y Tú* 85. La Habana: Ed. Cubasolar.
- WIKIPEDIA (2019). «Sostenibilidad». Visto en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Sostenibilidad>

Recibido: Enero 2019

Aceptado: Febrero 2019

EVALUACIÓN DEL RIEGO DE PLÁNTULAS DE HENEQUÉN CON EL EMPLEO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Por Ing. Fernando Camejo Mesa* y M. Sc. Ing. Martha Mazorra Mestre*

*Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (Ceter), Facultad de Ing. Mecánica. Universidad Tecnológica de La Habana.
E-mail: marta@ceter.cujae.edu.cu

Resumen

Cuba se interesa en el cultivo de Henequén debido a que las investigaciones han demostrado que, frente a las fibras sintéticas, la del henequén es más resistente para la producción de sogas y cordeles, de modo que la obtención de fibra blanca de calidad tiene importancia en la cadena productiva. El objetivo de este trabajo es evaluar la posibilidad de introducir energía renovable en la irrigación del cultivo de plántulas de henequén para controlar el agua necesaria en etapa de vivero, en particular energía solar fotovoltaica. El riego asistido con energía solar fotovoltaica en Henequén puede efectuarse a partir de diferentes procedimientos; sin embargo, el riego localizado constituye una de las técnicas más difundidas para obtener cultivos con calidad, la introducción de las energías renovables en los cultivos favorece necesidades energéticas en los procesos productivos. Se plantea el riego localizado por goteo, presentando el sistema integrado de riego con energía solar fotovoltaica, determinando cantidad de goteros en el riego, caudal del agua requerida, en el proceso de bombeo de agua calcular presión, carga y pérdidas, determinación del número de celdas fotovoltaicas y potencia del sistema. Se concluye que el sistema de riego asistido con energía solar fotovoltaico puede llegar a emplearse.

Palabras clave: Henequén, sistema de riego, energía solar fotovoltaica

IRRIGATION EVALUATION OF HENEQUEN SEEDLINGS WITH THE USE OF PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY

Abstract

Cuba is interested in the cultivation of Henequen because research has shown that, compared to synthetic fibers, henequen fiber is more resistant for the production of ropes and cord, so that obtaining quality white fiber is important in the productive chain. The objective of this work is to evaluate the possibility of introducing renewable energy in the irrigation of the cultivation of henequen seedlings to control the necessary water in the nursery stage, in particular photovoltaic solar energy. The assisted irrigation with photovoltaic solar energy in Henequen can be carried out from in different procedures, however, localized irrigation is one of the most widespread techniques for obtaining quality crops, the introduction of renewable energies in crops favors energy needs in production processes. The localized drip irrigation is proposed, presenting the integrated irrigation system with photovoltaic solar energy, determining the amount of drippers in the irrigation, the required water flow, in the water pumping process calculating pressure, load and losses, determining the number of photovoltaic cells and system power. It is concluded that the irrigation system assisted with photovoltaic solar energy can be used.

Key words: henequen, irrigation system, photovoltaic solar energy.

Introducción

En Cuba se presta atención al cultivo de Henequén, debido a que la resistencia de su fibra supera a las sintéticas y ecológicamente es más amigable con el medioambiente. El país tiene necesidad de recuperar las áreas de cultivo y la incorporación rápida del mismo a etapa de producción, por su importancia en la obtención de sogas y cordeles. La pérdida de la cultura sobre el cultivo de henequén y la larga espera para la extracción de la materia prima, hace que surja la necesidad de acortar el período de explotación del cultivo, para ello se diseñan sistemas de riego localizados, que si además están asistidos por energía solar fotovoltaica la calidad de la fibra blanca en su etapa de germinación se incrementa; ya que al regular agua y nutrientes en una porción de suelo se desarrollan raíces que favorecen el mejor desarrollo de la planta de Agave, mayor peso de la piña y mayor concentración de azúcares reductores.

Materiales y métodos

La atención a la obtención de fibra blanca conlleva el empleo de técnicas para el mejoramiento del cultivo y por tanto, la irrigación del henequén mediante estos procedimientos facilita fibra de calidad. El cultivo de henequén se realiza en varias etapas, una de las cuales es el cultivo en vivero que garantice plántulas robustas y sanas para pasar a la etapa de producción. En la etapa de vivero la irrigación localizada ayuda al crecimiento de las plántulas y la consiguiente obtención de plantas que aporten fibras de calidad.

Riegos localizados

Consisten en la aplicación del agua al suelo, restringida a la zona de aprovechamiento de las plantas. La característica fundamental es que se riega con la frecuencia necesaria para mantener una humedad en el suelo, normalmente por encima de la capacidad de campo en un entorno reducido de las raíces.

Riegos por goteo

El agua se aplica directamente al suelo con caudales inferiores a 12 L/h y los puntos de emisión se llaman goteros. Los consumos de agua en este tipo de riego se basan en la evapotranspiración potencial, de acuerdo con el porcentaje de suelo ocupado por las plantas, ya que en el resto no se produce consumo de agua. En instalaciones de riego localizado se tiene siempre una estación de control para medir el agua, filtrarla, tratarla, incorporar fertilizantes, controlar la presión y medir el tiempo de riego. La introducción de la energía solar fotovoltaica implica integrar técnicas de avanzada y actualidad para garantizar el fin planteado. El sistema fotovoltaico puede ser propuesto sin el empleo de baterías o con éstas para garantizar autonomía en días nublados.

Las características y parámetros a determinar en un diseño integrado de un sistema de riego asistido por energía solar fotovoltaica se presentan en la tabla 1.

La energía solar

El sol es una fuente inagotable de energía debido a las reacciones nucleares que ocurren en su masa. Una gran

parte de esta energía llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética y la luz solar que podemos percibir está el espectro que abarca desde 0,2 hasta 2,6 μm . La radiación que llega a la superficie terrestre se puede clasificar en directa y difusa. La radiación directa es aquella que se recibe en la superficie terrestre al pasar por la atmósfera. La radiación difusa es la que se recibe después de haber cambiado su dirección por los procesos de refracción y reflexión que ocurren en la atmósfera.

Cada año la tierra recibe la energía luminosa del sol en cantidad diez mil veces mayor que la utilizada por el hombre. La energía solar es reflejo de sostenibilidad al considerar que si el sol se apaga, la vida en la tierra desaparece. El reto está en convertir esa energía en forma útil para las necesidades del hombre. Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, esta puede transformarse en otras formas de energía como energía térmica o energía eléctrica utilizando paneles solares.

Instalaciones necesarias para el riego por goteo

1. Cabezal de riego
2. Equipo de filtración
3. Sistemas de filtrado
4. Equipo de fertilización
5. Control del riego
6. Goteros
7. Tuberías

Tubería - gotero

La integración del gotero se realiza en el proceso de extrusión de la tubería y da como resultado un tubo continuo. Esto facilita tanto la instalación como la recogida, así como mayores longitudes de lateral. Los materiales empleados en su fabricación garantizan una mayor resistencia a las variaciones de presión y temperatura, a la acción de los rayos solares y rozamiento.

Están diseñados con un laberinto con grandes pasos de agua y estructura vorticial que crea un flujo hidráulico turbulento favoreciendo la salida de las partículas en suspensión e impidiendo la sedimentación en su interior. Cuenta con un filtro integrado en la entrada de agua que reduce el riesgo de obstrucción debido al uso de aguas de baja calidad. Los dos puntos de emisión por goteros, enfrentados 180 grados, permiten una rápida y fácil instalación sin tener que verificar la posición del punto de emisión. Esto impide que el agua quede retenida en su interior desarrollando algas o precipitados. La distancia entre goteros se precisa según el suministro de agua requerido (Tabla 2, figs. 1 y 2)

Tabla 1. Parametros a determinar en un sistema integrado de riego fotovoltaico

Sistemas		
Riego	Bombeo de agua	Fotovoltaico
Número goteros	Presión	Número de celdas
Caudal de agua	Carga	Potencia
	Pérdidas	

Tabla 2. Longitudes aconsejables de gotero

Descripción	Separación entre goteros (cm)								
	30	40	50	60	75	100	110	125	150
Ø16 1L/h	70	87	102	116	135	166	177	192	218
Ø16 2L/h	54	67	78	89	105	128	136	148	168
Ø16 4L/h	35	43	51	56	68	83	88	96	109
Ø20 1L/h	95	118	139	158	185	226	241	263	297
Ø20 2L/h	79	98	116	132	154	188	201	219	247
Ø20 4L/h	59	73	86	98	115	140	150	163	185

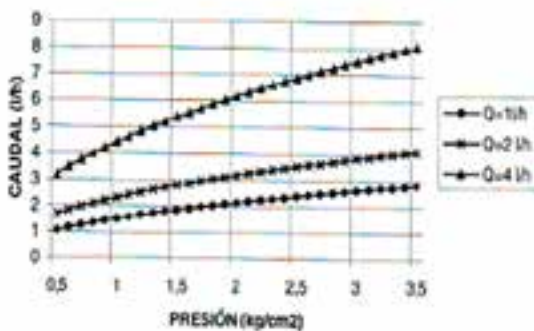


Fig. 1. Caudal de gotero largo D = 16 mm a diferentes presiones.

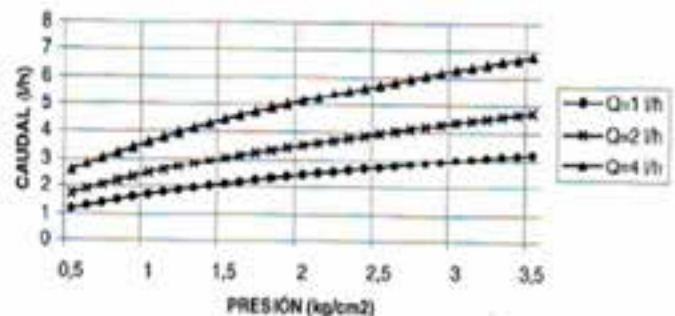


Fig. 2. Caudal de gotero largo D=20mm a diferentes presiones.

Sistema de bombeo de agua

Carga estática y dinámica

La carga estática es la medida de la altura de bombeo total para un sistema en reposo. Sin embargo, cuando se está bombeando un pozo, hay que tomar en cuenta otros factores. Por una parte, el nivel de agua en el pozo cae (abatimiento), y por otra, el paso del agua por la tuberías provoca en el sistema pérdidas por fricción. Estos datos

adicionales constituyen la carga dinámica total. La carga dinámica total es la suma de la carga estática, de la distancia de abatimiento y del equivalente en distancia de la fricción del agua en las tuberías y las pérdidas locales. Ya que tanto abatimiento como la fricción dependen de la velocidad de flujo de bombeo, la carga dinámica total siempre debe estar especificada para determinado flujo. A mayor flujo, mayor carga dinámica total (Fig. 3).

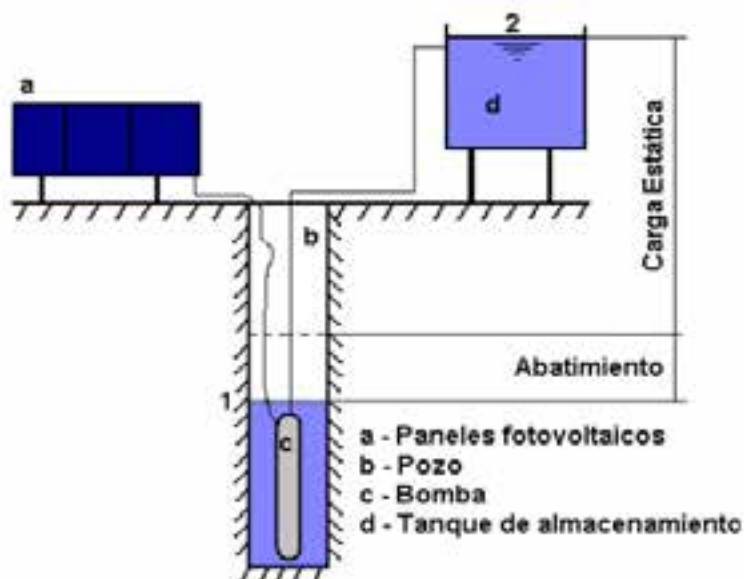


Fig. 3. Cargas a vencer por el sistema.

En un sistema de bombeo, en algunos casos la fuerza de gravedad da el caudal y la presión requerida para regar, pero en otros permite obtener caudal y presión a voluntad.

Resultados y discusión

Dimensionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico. Sin baterías

Para la realización del dimensionado, se debe seleccionar la bomba que satisfaga los parámetros requeridos, donde la carga dinámica es de 34 metros y el gasto de agua sería de 0,24 m³/h, equivalente a 2,4 m³/día, teniendo en cuenta que la bomba trabaje solo 10 horas en el día. Para esto se obtienen las curvas de las bombas que ofrece la marca Grundfos. Para las condiciones de trabajo que se necesita, se escoge la bomba SQF 0.6-2 (Fig. 4).

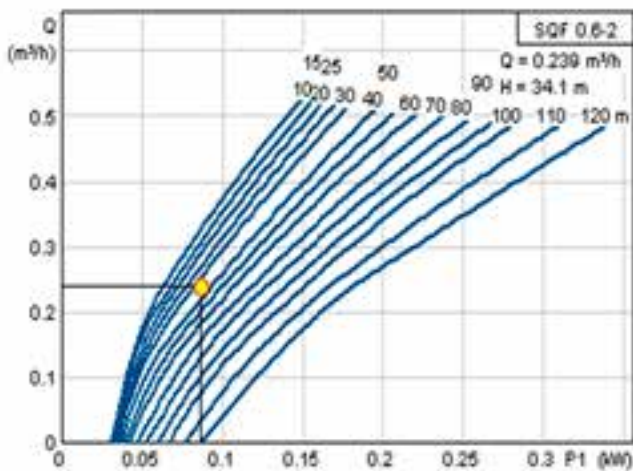


Fig. 4. Curva característica de la Bomba SQF 0.6-2.

La eficiencia de esta bomba para estas condiciones es de 27 %. El material de la bomba es acero inoxidable, el radio de salida es de 1 ¼", el diámetro mínimo de la perforación debe ser de 76 mm. La frecuencia de 60 Hz y el peso neto es de 7,6 kg. El rango de voltaje para la corriente directa es de 30 – 300 V. El rango de la velocidad nominal es de 500 – 3000 rpm. Con el gráfico anterior se puede obtener la potencia aproximada que necesita la bomba o por una vía más exacta, como se muestra a continuación.

$$N_s = \frac{\rho * g * H * V_{agua}}{\eta_b * 10 * 3600} = 82,35 \text{ (W)} \quad (1)$$

Donde:

Ne – Potencia que consume la bomba [W]

10*3600 – conversión de día, a horas (10 horas), y a segundos de trabajo de la bomba.

Con la potencia que consume la bomba, se obtiene la energía que se requiere, en 10 horas de trabajo al día,

$$E_2 = N_s * 10 \frac{h}{día} \quad (2)$$

Por lo que la energía requerida por los paneles fotovoltaicos se obtiene de la siguiente forma:

$$E_1 = \frac{E_2}{\eta_{elec}} \quad (3)$$

Por lo tanto, para obtener el número de paneles fotovoltaicos, de 80 W, necesarios para producir esta energía, será:

$$n = \frac{E_1}{P_o * (HPS)} \quad (4)$$

La fórmula para la determinación del número de paneles fotovoltaicos, quedaría de la forma siguiente:

$$n = \frac{\rho * g * H * V_{agua}}{P_o * \eta_{ele} * \eta_b * (HSP) * 3600} \quad (5)$$

Donde:

n – Número de paneles

Po – Potencia de cada panel [Wp / panel]

(HSP) – Hora Solar Pico del lugar [h/día], el número coincide con la Radiación en [kWh/m² día]

3600 – [segundo / hora]

η_{ele} – Eficiencia del sistema eléctrico, desde la salida del panel, hasta la entrada de la bomba.

η_b – Eficiencia energética de la bomba

V_{agua} – Volumen diario de agua a bombear [m³/día]

ρ – Densidad del agua: 1000 [kg / m³]

g – Aceleración de la gravedad: 9,81 [m/s²]

H – Altura total o carga dinámica de elevación del agua [m]

Al simplificar la ecuación anterior se obtiene que:

$$n = 2.725 \frac{H * V_{agua}}{P_o * \zeta_{ele} * \zeta_b * (HSP)} \quad (5.1)$$

Al realizar el diseño de esta instalación de bombeo fotovoltaico y para determinar el número de paneles se toma el mes en el que la Hora Solar Pico (HSP), sea la menor posible en el lugar de emplazamiento, dato que aparece en la tabla 2. En la tabla 3 se reporta dicho parámetro.

Por la tabla 3, considerando un ángulo de inclinación de 30 grados, el mes de menor radiación solar, es diciembre con una radiación solar promedio de 4,4 h/día.

Al evaluar los datos planteados en la ecuación 5.1, se obtiene:

$$n = 2.725 \frac{3 * 2.4}{8 * 0,2 * 0,9 * 4,4} = 2.9$$

Tabla 3. Radiación solar promedio diario incidente

	Radiación solar promedio diaria											
	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Rs(0°)	3,7	4,5	5,2	6,5	6,2	5,9	6,3	6,1	5,3	4,4	3,7	3,4
Rs(15°)	4,3	4,9	5,5	6,5	5,9	5,7	6	5,9	5,4	4,8	4,2	4,1
Rs(30°)	4,6	5,2	5,5	6,2	5,5	5,1	5,5	5,5	5,3	4,9	4,5	4,4

Por lo tanto se decide la instalación de tres paneles de 80 Wp, y como este dimensionado se realiza para el mes de menos radiación, para un volumen de agua de 2,4 [m³/día], se determina el volumen de agua requerido en los demás meses para la misma cantidad de paneles:

$$V_{agua} = \frac{n * P_o * \eta_{ele} * \eta_b * (HSP)}{2,725 * H} \quad (6)$$

Simplificando queda:

$$V_{agua} = \frac{3 * 0,9 * 0,9 * 0,2 * (HSP)}{2,725 * 4} = 0,629 * HSP$$

En la figura siguiente se muestra el volumen de agua diario:

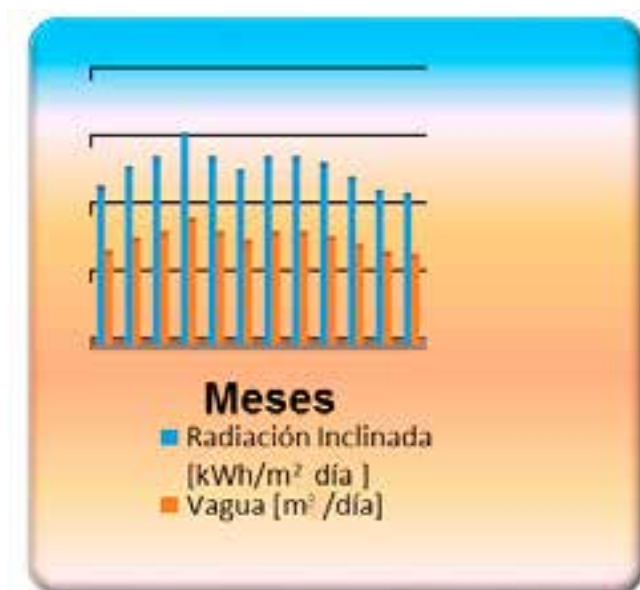


Fig. 5. Volúmenes de agua.

El volumen de agua diaria promedio en el año es de 3,21 m³/día y el tipo de paneles utilizado en el dimensionado es GF 80, de 80 Wp.

Otro método de cálculo:

$$E = 2,725 * \frac{H * V_{agua}}{\eta_b} \quad (7)$$

$$P = E * \frac{G_{cem}}{G_{dm} * \bar{m} * (1 - \delta(\bar{m} - T))} \quad (8)$$

Donde:

E_e : Energía que requiere la bomba (Wh/día)

P_p : Potencia pico necesaria (Wp)

G_{cem} : Radiación media en una hora solar pico 1000W/m²

G_{dm} : Radiación media diaria en un mes en el plano del generador (KWh/m²).

F_m : Factor de acoplo medio (0,9 para bombas centrífugas).

δ : Coeficiente de variación de la potencia con la temperatura. 0,004 y 0,005

1/°C para Si monocristalino.

T_m : Temperatura media diaria de los módulos.

T_a : Temperatura ambiente 25° C

Al evaluar en las ecuaciones se obtiene:

$$E = \frac{2,725 * 4 * 2,4}{0,2} = 823,5W / día$$

$$P = 823,5 * \frac{1}{4,4 * 0,9(1 - 0,005(0 - 2))} = 224,8Wp$$

Con esta potencia se pueden seleccionar los paneles fotovoltaicos a instalar y su número, donde la potencia pico del generador seleccionado debe ser mayor o igual a la potencia pico requerida por la instalación. Para la instalación se escogen tres paneles de 12v y 80 Wp.

80Wp x 3 panel > 225 Wp.

240Wp > 225 Wp.

Realizando estudio de mercado se obtiene el valor actual neto (VAN) y la tasa de rendimiento interno (TIR), dando como resultado que la inversión se recupera aproximadamente en cinco años y nueve meses;

Van (\$): 111,69
VAN/ Inversión: 0,15
TIR(%): 17
PAYBACK (años)
Inversión: 5,75
Más gastos totales: 5,75

Por lo anteriormente planteado, se demuestra que se obtiene el VAN, la relación VAN/Inversión, la tasa TIR con tiempo de recuperación de la inversión de menos de seis años. Las condiciones para un cultivo en vivero en la actualidad no utiliza energías renovables en la irrigación, y menos aún cuenta con ahorros de agua y energía en la actividad.

Conclusiones

- El sistema de riego asistido con energía solar fotovoltaica sin empleo de baterías recupera la inversión en menos de seis años.
- Este método de irrigación mediante energía solar fotovoltaica, además de ser un avance en el desarrollo de la industria agrícola cubana constituye un factor para disminuir el uso de combustibles fósiles.
- La aplicación y utilización de este sistema integrado, permite al país desarrollos técnicos y sostenibles en la obtención de fibra blanca de calidad.
- Mediante esta tecnología se promueve la reducción del tiempo de corte de las hojas en producción en 3-4

años, mientras que por el sistema actual de riego o tradicional es de 5-6 años sin garantizar buena calidad en la fibra.

Bibliografía

- ALMANZA SALGADO, R.M.G., FELIPE (2003). «Ingeniería de la Energía Solar», en *Ingeniería de la Energía Solar*, C.S.A.D. C.V., Editor. México, D.F. p. 431.
- ARIJA GONZÁLEZ, D. (2010). «Prototipo de Sistema de Bombeo Fotovoltaico en Departamento de Ingeniería Eléctrica., Universidad Carlos III de Madrid (Escuela Politécnica Superior): Madrid.
- BAEZA, G. (2012-2013). *Renovables*, B. S.A, Editor. Málaga. p. 76.
- CRUZ DAVID, B. (2011). *Estudio del ahorro mediante bombeo solar*, U.I.d. Andalucía, España.
- ESTRADA., D.L.Z. (2010). «Producción Intensiva de Agave (Riego por goteo)». Fundación Produce Tamaulipas A.C.: Altamira, Tampus. p. 2.
- IGARZA, C. (2010). «Tecnología del cultivo de Henequén». Instituto de Investigaciones Hortícola Liliانا Dimitrova. La Habana, p.9
- MORALES SALAS, J. (2007). «Diseño y Análisis de Factibilidad de una Instalación de Bombeo Solar Fotovoltaica para el Abastecimiento de Agua, en Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER)». Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría: La Habana.
- MORENO FIGUEREDO, CONRADO, ET AL. (2012). *Fuentes Renovables de Energía*. CETER, La Habana, p. 410.
- SARMIENTO SERA, A. (2013). *Energía Solar Fotovoltaica. Temas Seleccionados*. La Habana, p. 102.

Recibido: Enero 2019

Aceptado: Febrero 2019

LA MICROCYCAS CALOCOMA, ESPECIE AMENAZADA

Por Lic. Olga Tserej Vázquez*

*Universidad de Miami

E-mail: tserej@gmail.com

Resumen

Microcycas calocoma pertenece a un género monotípico y endémico de Cuba. Las colonias de *M. calocoma* se desarrollan en suelos arcillosos o arenosos sobre piedra caliza, aunque también crecen en bosques de galería de origen secundario y en mogotes. Las poblaciones de *M. calocoma* solo se encuentran en la provincia de Pinar del Río, en el oeste de Cuba pues su distribución ha sido limitada en gran parte por la expansión agrícola. Se ha establecido que en la naturaleza no más de 1 % de las semillas que germinan alcanzan la fase de plántulas, lo cual genera grandes problemas adicionales para esta especie. Entre las cícadas, *M. calocoma* es uno de los ejemplos más relevantes del impacto humano negativo en una especie endémica. La disminución real de esta especie se estima en más de 80 %. En 1989, *M. calocoma* fue declarado «Monumento Natural Nacional» debido a su valor estético y científico. Se han realizado varios esfuerzos de conservación y las poblaciones de *M. calocoma* en el Parque Nacional Viñales y las Áreas Protegidas Mil Cumbres son relativamente seguras. También se ha realizado conservación *ex situ* donde el Jardín Botánico Nacional de Cuba, ubicado en La Habana, actualmente posee 156 individuos vivos en su colección. Los programas de conservación deben incluir una evaluación más precisa de las poblaciones existentes basada en encuestas de campo actuales, una investigación más profunda de las necesidades reproductivas de la especie e involucrar aún más a la comunidad en los programas de manejo.

Palabras clave: *Microcycas calocoma*, Cuba, manejo, conservación, especie endémica

MICROCYCAS CALOCOMA, THREATENED SPECIES

Abstract

Microcycas calocoma belongs to a monotypic and endemic genus of Cuba. Colonies of *M. calocoma* develop in clayey or sandy soils on limestone, although they also grow in gallery forests of secondary origin and in mogotes. The populations of *M. calocoma* are only found in the province of Pinar del Río, in western Cuba, since their distribution has been largely limited by agricultural expansion. It has been established that in nature no more than 1 % of the seeds that germinate reach the seedling stage, which generates major additional problems for this species. Among the cycads, *M. calocoma* is one of the most relevant examples of the negative human impact on an endemic species. The actual decrease of this species is estimated at more than 80 %. In 1989, *M. calocoma* was declared «National Natural Monument» due to its aesthetic and scientific value. Several conservation efforts have been made and the populations of *M. calocoma* in Viñales National Park and the Mil Cumbres Protected Areas are relatively safe. *Ex situ* conservation has also been carried out by the Cuban National Botanical Garden, located in Havana, that currently has 156 alive individuals in its collection. Conservation programs should include a more accurate assessment of existing populations based on current field surveys, a deeper investigation of the reproductive needs of the species and an increase in the community involvement in management programs.

Keywords: *Microcycas calocoma*, Cuba, management, conservation, endemic species

Antecedentes

A. Descripción y taxonomía

Microcycas calocoma pertenece a un género monotípico y endémico de Cuba. Esta especie ha sido clasificada como miembro de la familia *Zamiaceae*, orden *Cycadales*, clase *Cycadopsia* y división *Cycadophyta* [Govaerts, 2011]. Tiene hojas grandes de 60-100 cm de largo con 50-80 pares de folíolos. Las hojas se insertan como un penacho en el ápice de un tronco. La parte central de este tronco está llena de almidón y lo rodea un anillo grueso con una consistencia suberosa [Roig, 1975]. Esta es la razón de su nombre común «Palma corcho» (palma de corcho) [Del Risco y Morell, 1984]. La corona de hojas cae cada dos años y este proceso deja una huella en forma de anillo en el tronco, a veces poco visible [Cendrero, 1940]. En general, esta planta alcanza 6-8 m de altura y 20-30 cm de diámetro. Sin embargo, hay informes de plantas de 11 m de altura y 70 cm de diámetro en su base. En el centro de los mechones tienen grandes luces estroboscópicas. Los estrobos femeninos son generalmente de 50-70 cm de largo y 15-16 cm de diámetro; los estrobos masculinos más pequeños tienen 25-30 cm de largo y 5-8 de diámetro [Caldwell, 1907]. La presencia de epífitas como líquenes, musgos y orquídeas en el tronco también es un rasgo generalizado. A veces, la detección de la planta es difícil porque todo el tronco está cubierto con estas epífitas. Sin embargo, este epifitismo lejos de afectar el estado de las plantas parece favorecerlas, posiblemente debido al microambiente desarrollado en la superficie del tronco [Pena *et al.*, 1987].

Tendencias, rango y distribución de la población

Las poblaciones de *M. calocoma* solo se encuentran en la provincia de Pinar del Río, en el oeste de Cuba. En la actualidad, las poblaciones de *M. calocoma* están restringidas a barrancos, laderas o cimas de colinas abiertas o en remanentes del bosque tropical que han sido limitadas por la expansión agrícola [Vovides *et al.*, 1997]. Específicamente, el límite más occidental está en La Ceja de Francisco cerca de Sumidero y el límite más oriental está cerca de Rancho Mundito. La colonia más septentrional se encuentra en un pequeño mogote al noroeste de El Pan de Guajaibón. Las colonias de *M. calocoma* se han dividido en dos grupos. El primer grupo se llama «poblaciones de tierras bajas» y están ubicadas cerca de arroyos y en la llanura al sur de la cordillera Guaniguanico. El segundo grupo se llama «poblaciones de montaña» y crecen en las elevaciones de esta cordillera. Estas colonias se encuentran entre 100-400 m sobre el nivel del mar [Foster y San Pedro, 1942; García-Torres *et al.*, 2013].

La reproducción natural por semillas es extremadamente rara y esta es claramente una de las razones más importantes para la distribución restringida de esta especie [Foster y San Pedro, 1942]. Algunos autores han estimado un total de alrededor de 600 individuos que viven en la naturaleza [Whitelock, 2002], pero estudios más recientes muestran que la población actual ahora se estima entre 1540 y 4000 individuos maduros, con una tasa decreciente de 80 % [Bösenberg, 2010].

Historia de la vida y ecología

La producción de estrobos masculinos y femeninos no ocurre en todas las plantas a partir de una edad específica, ni ocurre en todas las plantas en un ciclo cuando están en una etapa reproductiva. En las plantas adultas, existe una gran variabilidad que no está relacionada con la edad de las plantas o las condiciones climáticas. Plantas similares del mismo sexo y número de anillos (que permite comparar la edad aproximada de las plantas) muestran grandes diferencias en la producción de estrobos. Algunos especialistas han establecido que *M. calocoma* tomará más de 20 años para producir estructuras reproductivas [Pena *et al.*, 1987]. Sin embargo, hay un informe de conos producidos por un Palma Corcho de ocho años [Whitelock, 2002].

En condiciones naturales, los conos femeninos y masculinos pueden tardar hasta cuatro meses en desarrollarse completamente. Después de ese tiempo, están listos para producir y recibir polen. Las semillas germinan después de 10 meses. Cada cono es capaz de producir entre 500 y 600 semillas. En promedio, en condiciones de laboratorio, solo 45 % de estas semillas serán viables y germinarán en dos y tres semanas [Kay *et al.*, 2011]. Las tasas de germinación son en promedio 26 %, también en condiciones de laboratorio. Una vez que aparece el tronco, crecerá 10-20 cm año si está en condiciones subtropicales [Whitelock, 2002]. Se ha establecido que en la naturaleza no más de 1 % de las semillas que germinan alcanzan la fase de plántulas [Pena *et al.*, 1987]. Los problemas con la germinación se han atribuido a la imposibilidad de imbibición de la semilla y la presencia de inhibidores que no pueden desactivarse [Pena *et al.*, 1986].

Características del hábitat

Las colonias de *M. calocoma* se desarrollan en suelos arcillosos o arenosos sobre piedra caliza y, en algunos casos, en arenosos limosos en los que el pH oscila entre 4, 5 y 7. A pesar de su variabilidad del hábitat, los caracteres fenológicos descritos anteriormente permanecen constantes entre los individuos [Pena *et al.*, 1987]. Estas plantas también crecen en bosques de galería de origen secundario con suelos fértiles y bien regados. Además, *M. calocoma* se ha encontrado en mogotes (colinas kársticas empinadas). La palma corcho prefiere lugares húmedos y sombreados entre 40-400 metros sobre el nivel del mar [García-Torres *et al.*, 2013].

Esfuerzos de conservación

En 1989, *M. calocoma* fue declarado «Monumento Natural Nacional» debido a su valor estético y científico. Las poblaciones de *M. calocoma* en el Parque Nacional Viñales y las Áreas Protegidas Mil Cumbres son relativamente seguras. En esos lugares, la actividad humana se reduce debido a la hostilidad del hábitat y al estado de conservación de la tierra. Aunque esas áreas protegidas permiten la cosecha selectiva de madera y hojas de palma, los efectos se mantienen a un nivel mínimo [Lezcano, 2007]. Además, esta especie figura en el Apéndice I de los Apéndices de la CITES [Bösenberg, 2010]. En 2000, la Fundación para el Desarrollo Social de las Islas Canarias y el Gobierno de Viñales inició un programa para un

modelo de desarrollo local sostenible en el Parque Nacional de Viñales. Este proyecto se centró principalmente en proteger los recursos naturales, incluidas las especies endémicas, del parque con la participación de la comunidad local y la mejora de la calidad de vida de las personas. El proyecto fue apoyado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM). Aunque el proyecto no se centró directamente en la protección de *M. calocoma*, desaceleró la degradación de su hábitat [Porras, 2012].

Por otra parte, se han realizado otros proyectos cerca de Consolación del Sur para recuperar áreas forestales que anteriormente se convertían en pastizales. Sin embargo, no se han recuperado procesos críticos como la polinización y la producción de semillas [Lescano, 2007].

Como parte de un esfuerzo de conservación ex situ, el Jardín Botánico Nacional de Cuba, ubicado en La Habana, actualmente posee 156 individuos vivos en su colección [Bösenberg, 2010]. Además, ambos jardines botánicos en el sur de Florida [Fairchild Tropical Garden y Montgomery Botanical Center] pudieron germinar con éxito las semillas de *M. calocoma* [Hubbush, 1987].

Específicamente, el Centro Botánico Montgomery en Miami ha proporcionado un ejemplo de una acción de conservación ex situ muy exitosa. Desarrollaron un programa de propagación y pudieron demostrar cómo la distribución pública de esta cícada contribuye a la conservación en su hábitat natural. Cuando se ofrecen semillas de plantas raras en subastas públicas, el precio promedio de las semillas disminuye y la eliminación de los individuos en la naturaleza ya no representará un incentivo económico [Kay et al., 2011].

Programa de recuperación

A. amenazas actuales

Las cícadas en general han experimentado una gran crisis de extinción debido a actividades humanas como la destrucción de su hábitat natural, la eliminación directa de las plantas para paisajismo y plantas o animales invasores [Donaldson, 2003]. Entre las cícadas, *M. calocoma* es uno de los ejemplos más relevantes del impacto humano negativo en una especie endémica. Siguiendo el método EDGE [Evolutionary Distinct y Globally Endangered], *M. calocoma* ocupa el octavo lugar entre las 20 principales especies EDGE de gimnospermas y es la cícada más alta en esa lista [Forest et al., 2018].

Desde principios del siglo pasado, algunos científicos habían expresado su preocupación por la posibilidad de que *M. calocoma* se extinga [Chamberlain, 1931]. Las poblaciones de *M. calocoma* han ido disminuyendo gradualmente desde la época colonial. Este proceso se intensificó a principios del siglo XIX como resultado del desarrollo de la producción de tabaco en la zona. En general, esta área ha sido extremadamente perturbada por la expansión agrícola. La mayoría de las poblaciones de tierras bajas cerca de Consolación del Sur han desaparecido por completo debido a las actividades agrícolas [Lezcano, 2007]. Este es un problema importante en Cuba, donde el bosque tropical caducifolio se ha reducido a 14 % de su cobertura original [Silva-Taboada, 1992]. Se ha informado que la población de *M. calocoma* en Arroyo Sabaneton fue comple-

tamente destruida debido a la construcción de una presa en el río Santa Clara. Esta población era una de las dos poblaciones donde la polinización natural fue realmente exitosa. Además, la población de El Trigre, que tiene el mayor número de especímenes en las tierras bajas [Foster y San Pedro, 1942] se perdió por la deforestación [García et al., 2016].

Por otra parte, la extracción de muchos especímenes jóvenes y adultos para propósitos ornamentales ha sido reportada en la literatura [Del Risco y Morell, 1984]. Las cícadas cautivan a las personas debido a su forma distintiva, antigüedad y su frecuente asociación con los dinosaurios. Esto provoca la sobrecolección de los individuos en su hábitat natural, lo que conduce al peligro de las poblaciones nativas [Kay et al., 2011]. Algunos mamíferos exóticos como los cerdos y los roedores han afectado a *M. calocoma* [Cruz et al., 2010; Del Risco y Morell, 1984; Gonzalez-Torres et al., 2013]. Los cerdos salvajes (*Sus scrofa*) fueron introducidos en las Indias Occidentales por Cristóbal Colón durante su segundo viaje al Nuevo Mundo en 1493 desde Canarias [Lever, 1994]. La gente los introdujo en Cuba para usarlos como fuente de alimento. Cerdos salvajes se establecieron en todas las áreas de bosques naturales en Cuba y los Cayos. El daño causado por *S. scrofa* a los bosques cubanos aún no se ha cuantificado. Sin embargo, hay estudios descriptivos que indican el efecto de los cerdos salvajes en la regeneración natural de las plantas y cómo aumentan la degradación del suelo. Existen poblaciones silvestres establecidas de esta especie en Pinar del Río [Borroto-Páez, 2009] y se ha informado que se alimentan de las semillas de *M. calocoma* [González-Torres, 2013].

Algunos aspectos de la ecología de esta especie, como su reproducción natural extremadamente rara por semillas, agravan los efectos humanos negativos. Además, la historia evolutiva de esta especie juega un papel fundamental en su declive. Las cícadas son las plantas de semillas más antiguas que existen en la actualidad. Sus orígenes se remontan a 300 millones de años durante el último período carbonífero [Donaldson, 2003]. Esto significa que las condiciones ambientales actuales difieren mucho de las de la era geológica en la que se originó la especie. Por lo tanto, las adaptaciones que posee esta especie no están de acuerdo con las condiciones ambientales actuales, lo que dificulta su respuesta a los cambios ecológicos. Por ejemplo, la porción central del tallo en este grupo es bastante frágil y puede romperse fácilmente cuando se expone a fuertes vientos [Caldwell, 1907]. Las proyecciones actuales muestran que el cambio climático aumentará la severidad de los ciclones tropicales en el Mar Caribe [Walsh et al., 2016]. Específicamente, Pinar del Río ha estado mostrando ataques de huracanes más frecuentes en los últimos años [Serrano, 2013]. Esto podría estar afectando negativamente a las poblaciones de *M. calocoma* al romper sus troncos. De hecho, el daño mecánico en esta especie se ha informado constantemente en la literatura [Caldwell, 1907; García et al., 1996].

En conclusión, las tres amenazas principales que conducen a la disminución de *M. calocoma* son la destrucción del hábitat, la acumulación y la falla reproductiva [Donaldson, 2003].

Criterios de recuperación

La población se había clasificado previamente como «En Peligro Crítico» ya que cumplía con los criterios siguientes, con respecto a su rango geográfico y área de ocupación: (1) existía en un solo lugar, (2) tenía una disminución continua en su área, extensión y calidad de hábitat y (3) el número de individuos maduros había disminuido con el tiempo [Donaldson, 2003]. Sin embargo, los datos más recientes provenientes de Cuba sugirieron que la especie está presente en más lugares de lo que se pensaba anteriormente. Además, hay individuos más maduros que los descritos anteriormente [Bösenberg, 2010]. Con base en estos nuevos datos, esta especie podría clasificarse ahora como «En Peligro» de acuerdo con los criterios siguientes: (1) su extensión de ocurrencia es menor a 5000 km², en realidad es de 800 km²; (2) la especie no está presente en más de cinco ubicaciones y está presente en exactamente cinco sitios; (3) el número de individuos maduros no excede las 10,000 plantas, la población oscila entre 1540-4000 individuos; (4) ha disminuido al menos 10 % en las últimas tres generaciones, su disminución real se estima en más de 80 %.

Teniendo esto en cuenta, los criterios de recuperación para que la especie se excluya por completo deben ser:

1. La especie debe existir en más de diez ubicaciones.
2. El área de ocupación debe exceder los 20,000 km².
3. El número de individuos maduros debe ser más de 10,000 plantas.
4. La población debería mostrar un aumento en las próximas tres generaciones.

Cabe señalar que, aunque la mayoría de los criterios de evaluación para esta especie se ajustan a la clasificación de nivel en peligro de extinción, la Lista Roja de la UICN mantuvo a esta especie en Peligro Crítico según la tasa de disminución de más de 80 %.

Plan de acción

Según los planes de acción de conservación previos establecidos para las cícadras [Donaldson, 2003; Forest and Holland, 2007; Lezcano, 2007], los aspectos más importantes a considerar al proteger este grupo son los siguientes:

1. La conservación de su hábitat natural.
2. Conservación fuera del sitio (uso de bancos de genes y colecciones para preparar semillas para la reintroducción futura).
3. Leyes relativas al comercio (para proteger a las poblaciones existentes).
4. Investigación (para determinar la tasa reproductiva).
5. Educación.
6. Participación de la población local.

La acción más importante para proteger esta especie endémica y en peligro de extinción es salvaguardar y regenerar su hábitat original. Se ha establecido que la conservación de las cícadras está extremadamente vinculada a la conservación del hábitat [Donaldson, 2003]. En el caso específico de *M. calocoma*, el primer paso sería detener la destrucción de los bosques donde habitan. La expansión agrícola en Pinar del Río ha impactado seriamente a esta especie. Es por

eso que el gobierno local debe elaborar regulaciones que limiten la extensión de cultivos en aquellas áreas donde se ha identificado la palma corcho. Además de la protección del área, se deben realizar esfuerzos de reforestación centrados en *M. calocoma* ya que las poblaciones críticamente pequeñas generalmente presentan polinización interrumpida y dispersión de semillas. Según los medios del gobierno cubano, Pinar del Río es la provincia líder en la plantación de árboles [Granma, 2019]. Sin embargo, los esfuerzos de reforestación no se han dirigido a la protección o restauración de las poblaciones de *M. calocoma*. Otras poblaciones de cícadras se han beneficiado con la creación de viveros comunitarios acreditados que promueven la propagación de la especie [Donaldson, 2003]. Necesitaríamos identificar si *M. calocoma* es un taxón adecuado en una ubicación adecuada para el establecimiento de viveros locales exitosos.

Los esfuerzos de conservación ex situ destinados a la creación de bancos de genes son extremadamente importantes ya que actúan como copias de seguridad del genoma de la especie en caso de desastres naturales o la desaparición total de la especie en la naturaleza. En este caso, la responsabilidad recae en los jardines botánicos de la zona. Estas instituciones están representadas por científicos que tienen la experiencia necesaria para facilitar la reintroducción de esta especie en peligro de extinción en las áreas afectadas. Los jardines botánicos deben trabajar directamente con los viveros locales en el área para suministrarles semillas para propagación. El banco de genes de *M. calocoma* se encuentra en el Jardín Botánico Nacional de Cuba, bajo la supervisión del grupo de conservación y propagación de plantas. La colección consta de 156 especímenes de dos ubicaciones [Lazcano, 2004]. Sin embargo, se debe crear un banco de genes para esta especie en el Jardín Botánico de Pinar del Río para que pueda trabajar directamente con las poblaciones de *M. calocoma* en el área.

Las leyes sobre el comercio de *M. calocoma* deben revisarse y actualizarse. Se ha establecido para otras cícadras que el comercio legal de semillas reduce la amenaza para las poblaciones silvestres [Donaldson, 2003].

Además, una investigación en curso sobre la especie permitirá mejoras en nuestro plan de conservación. Primero, necesitaríamos una evaluación más precisa de las poblaciones existentes basada en encuestas de campo actuales. Entonces, necesitaríamos investigar más profundamente las necesidades reproductivas de la especie y cómo podemos mejorar los procesos de germinación y plántulas.

Cualquiera de estos esfuerzos sería realmente exitoso si la comunidad está involucrada en cada paso del proceso. En última instancia, las personas que viven en el área son las salvaguardas reales de las poblaciones de *M. calocoma*. Sin embargo, es difícil proteger lo que no se conoce. Por lo tanto, una gran parte de los esfuerzos en cualquier programa para proteger las especies en peligro de extinción deben estar dirigidos a proporcionar a los locales información actualizada y pertinente sobre el taxón de interés. Un segundo alcance educativo más ambicioso involucraría a la comunidad internacional de entusiastas de *M. calocoma*. Aunque las personas de fuera de Pinar del Río no pueden tomar una acción directa para esta especie, pueden apoyar programas de investigación y difundir información crítica sobre este

grupo. La gente del área conoce aspectos generales de la especie y su importancia. Sin embargo, se deben desarrollar más proyectos que involucren educación ambiental en Pinar del Río para que las personas puedan estar informadas sobre la ecología de la especie, las tendencias actuales y los esfuerzos de recuperación [González-Torres, 2013].

Conclusiones

Dada la importancia y el grado de amenaza que posee esta especie se hace indispensable el desarrollo de estrategias dirigidas a su recuperación y manejo. El foco principal debe ser salvaguardar y regenerar su hábitat original. El primer objetivo sería detener la destrucción de los bosques donde habitan, que es en gran parte debido a la expansión agrícola en Pinar del Río. Otro objetivo debe ser planear una reforestación de esta especie ya que las poblaciones críticamente pequeñas presentan graves problemas para incrementar su número de individuos. Se deben continuar los esfuerzos de conservación ex situ destinados a la creación de bancos de genes. Las leyes sobre el comercio de *M. calocoma* deben revisarse y actualizarse. Además, se deben promoverse más estudios sobre esta especie que nos permitan evaluar más certeramente su estado actual. Finalmente, como piedra angular de este proceso, la comunidad de la zona debe ser incluida como protagonista de todos los planes de manejo integral, así como planes de educación ambiental para la recuperación de *M. calocoma*.

Bibliografía

- BORROTO-PÁEZ, R. (2009). «Invasive mammals in Cuba: an overview». *Biological Invasions*, 11 (10), 2279.
- BÖSENBERG, J.D. (2010). *Microcycas calocoma*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2010: e.T42107A10647674. cites Downloaded on 16 April 2019
- CALDWELL, O. W. (1907). «*Microcycas calocoma*». *Botanical Gazette*, 44 (2), 118-141.
- CENDRERO, O. (1940). «El *Microcycas calocoma*, palma corcho, palma de corcho o corcho». *Memorias Sociedad Cubana de Historia Natural*, 14, 175-182.
- CHAMBERLAIN, C.J. (1931). «The living Cycads». *The Univ. of Chicago Press*, second ed., Chicago, 9-11
- CRUZ, A. J. U., L. GONZÁLEZ-OLIVA Y R.N. CARBÓ (2010). *Libro rojo de la flora vascular de la provincia Pinar del Río*. Universidad de Alicante.
- DEL RISCO, E. Y J. MORELL (1984). «Algunos apuntes sobre *Microcycas Calocoma* (Miq.) A. DC». *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 111-131.
- DONALDSON, J. S. (2003). «Status survey and conservation action plan: cycads». *IUCN/SSC Cycads Specialist Group. IUCN, Glan*, 86.
- FORSTER, P. Y A. E. HOLLAND (2007). *National Multispecies Recovery Plan for the Cycads, Cycas Megacarpa, Cycas Ophiolitica, Macrozamia Cranei, Macrozamia Lomandroides, Macrozamia Pauli-guilielmi and Macrozamia Platyrhachis*. Environmental Protection Agency.
- Forest, F., J. Moat, E. Baloch, N. A. Brummitt, S. P. Bachman, S. Ickert-Bond y H. Rai (2018). «Gymnosperms on the EDGE». *Scientific reports*, 8 (1), 6053.
- FOSTER, A. S. Y M. R. SAN PEDRO (1942). «Field studies on *Microcycas calocoma*». *Memorias de la Sociedad Cubana de Historia Natural*, 16 (2), 105-121.
- FORSTER, P. Y A. E. HOLLAND (2007). *National Multispecies Recovery Plan for the Cycads, Cycas Megacarpa, Cycas Ophiolitica, Macrozamia Cranei, Macrozamia Lomandroides, Macrozamia Pauli-guilielmi and Macrozamia Platyrhachis*. Environmental Protection Agency.
- GARCÍA, E., P. GARCÍA, J. LARA, D. MONTESINOS Y Z. CAMPOS (1996). «La reproducción sexual en *Microcycas*. I, Estudios de monitoreo in situ». *Revista Del Jardín Botánico Nacional*, 17/18, 147-158.
- GONZÁLEZ-TORRES, L. R., A. PALMAROLA, E. R. BÉCQUER, R. BERAZAÍN, D. BARRIOS Y J. L. GÓMEZ (2013). «Las 50 plantas más amenazadas de Cuba». *Top*, 50, 4-5.
- GOVAERTS, R.H.A. (2011). «World checklist of selected plant families published update. Facilitated by the Trustees of the Royal Botanic Gardens, Kew.
- GRANMA (2019). «Pinar del Río se reafirma como la provincia más reforestada de Cuba». Retrieved from: <http://www.granma.cu/cuba/2016-05-30/pinar-del-rio-se-reafirma-como-la-provincia-mas-reforestada-de-cuba-30-05-2016-23-05-24>
- HUBBUCH, C. (1987). «Cycads: propagation and container culture». *Fairchild Tropical Garden Bulletin*.
- KAY, J., A. A. STRADER, V. MURPHY, L. NGHIEM-PHU, M. CALONJE Y M. P. GRIFITH (2011). «Palma corcho: a case study in botanic garden conservation horticulture and economics». *HortTechnology*, 21 (4), 474-481.
- LAZCANO, J. (2004). «Conservación ex situ de *Microcycas calocoma*, *Zamia amblyphyllidia*, *Zamia integrifolia*, *Zamia ottonis* y *Zamia pygmaea* (Zamiaceae) como colecciones vivas en el Jardín Botánico Nacional de Cuba». *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 145-152.
- LAZCANO, J. (2007). «Notes on *Microcycas calocoma*». *The Cycad Newsletter*, 30 (4), 15-16.
- LEVER, C. (1994). *Naturalized animals: the ecology of successfully introduced species*. T & AD Poyser Ltd.
- VOVIDES, A. P., N. OGATA, V. SOSA Y E. PEÑA GARCIA (1997). «Pollination of endangered Cuban cycad *Microcycas calocoma* (Miq.) A. DC.». *Botanical Journal of the Linnean Society*, 125 (3), 201-210.
- Walsh, K. J., J. L. McBride, P. J. Klotzbach, S. Balachandran, S. J. Camargo, G. Holland y M. Sugi (2016). «Tropical cyclones and climate change». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7 (1), 65-89.
- WHITELOCK, L. M. (2002). *The cycads*. Timber Press.
- PENA, E., L. CANALS Y E. MENSA (1986). «*Microcycas calocoma*: Caracteres de la semilla y su germinación». *Revista Del Jardín Botánico Nacional*, 7 (3), 55-70.
- PENA, E., E. GRILLO Y L. DIAZ (1987). «*Microcycas calocoma* (Miq.) A. DC. Estudios realizados en Cuba con vistas a su conservación». *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, 134 (2), 95-105.
- PORRAS, J. L. C. (2012). «La participación comunitaria en el desarrollo local sostenible del Parque Nacional Viñales (Cuba)».
- ROIG MESA, J. T. (1975). *Diccionario Botánico de Nombres Vulgares Cubanos*. 4ta. La Habana: Ed. Pueblo y Educación.
- SERRANO, M. M. (2013). «Factores ecológicos y sociales que explican la resiliencia al cambio climático de los sistemas agrícolas en el municipio La Palma, Pinar del Río, Cuba/Socio-ecologic aspects that explain the resilience to climate change in agricultural systems of La Palma municipality, Pinar del Río, Cuba». *Agroecología*, 8 (1), 43-52.
- SILVA-TABOADA G. (1992). «The conservation of animal diversity in Cuba. In: Eldredge N ed. Systematics, ecology and the biodiversity crisis». New York: Columbia University Press, 169-177

Recibido: Enero 2019

Aceptado: Febrero 2019

EVALUACIÓN DEL EFECTO AGRONÓMICO DEL EFLUENTE SÓLIDO PROCEDENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO POR DIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUALES PORCINOS EN LOS CULTIVOS DE AJO (*ALLIUM SATIVA*) Y TOMATE (*LICOPERSICUM ESCULENTUM*) VAR. L43

Por Teresa Fraser Gálvez, José Luis Fuente, Miguel Fariñas, Yoel Suárez Lastrey Alfredo Curbelo Alonso

* Instituto de Suelos (IS), Cuba.

E-mail: investigacion3@isuelos.cu

** Instituto de Investigaciones Porcinas (IIP), Cuba.

***Finca La Inesita (Pedro Pi), Cuba.

E-mail: eumelio@nauta.cu

****Centro para la Gestión de la Información y el Desarrollo de la Energía. Cubaenergía, Cuba

E-mail: jlfuente@iip.co.cu

Resumen

Los suelos agrícolas sufren un desequilibrio en el mantenimiento de niveles estables de materia orgánica (MO) debido a diversas razones (excesivo laboreo, producción intensiva, uso de fitosanitarios, deforestaciones irracionales, incendios forestales, pastoreo inadecuado, etc.), ocasionando una disminución de la fertilidad natural del horizonte superficial, más acentuada en regiones con poca producción de biomasa. Es por ello, que la introducción de fertilizantes de origen orgánico resulta de suma importancia en los momentos actuales en que se dan pasos para cambiar la llamada agricultura moderna, por la agricultura biológica o agroecológica. La aplicación de efluente procedente de la planta de biogás porcina es considerada un abono orgánico eficaz, como fuente de materia orgánica y mejoradora de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos agrícolas. Tomando en consideración la gran cantidad de efluentes sólidos y líquidos que se generan como productos residuales del proceso de la producción de gas, se evaluó su efecto agronómico en la Finca la Inesita ubicada en Pedro Pi, provincia de Mayabeque, con el cultivo del ajo var. Chileno, sobre un suelo Ferralítico Rojo, y tomate var.L43 en suelo Ferralítico Amarillento; los surcos fueron de 20 m de largo, la cantidad de efluente correspondiente a los tonelajes consistieron en: para 4 ton (20kg), 6 ton (32kg), 8 ton (40kg), se replicaron los surcos cuatro veces y se evaluó en el caso del ajo el diámetro y peso en gramos de 20 bulbos y el peso en kg para el rendimiento total y en el tomate se midieron en 10 plantas el número de fruto y el peso total en kg. Los resultados mostraron que hubo un ligero incremento de las propiedades químicas del suelo después de las cosechas en el contenido de materia orgánica, Fósforo (P_2O_5), Potasio (K_2O), Calcio (Ca), y una disminución de las concentraciones de sodio, situación que pudo favorecer que los agregados del suelo fueran más estables y se observó que el uso del efluente (sólido) en los cultivo de ajo y tomate aumentaron de rendimientos de 5,74 y 72,88 kg.ha⁻¹, con las mayores aplicaciones superando al testigo en 1,84 y 19,4 kg.ha⁻¹.

Palabras clave: Cultivo, rendimiento, dosis de aplicación.

EVALUATION OF THE AGRONOMIC EFFECT OF THE SOLID EFFLUENT FROM A TREATMENT PLANT BY ANAEROBIC DIGESTION OF PORCINE RESIDUES IN GARLIC CROPS (*ALLIUM SATIVA*) AND TOMATE (*LICOPERSICUM ESCULENTUM*) VAR. L43

Abstract

Agricultural soils suffer an imbalance in the maintenance of stable levels of organic matter (MO) due to various reasons (excessive tillage, intensive production, use of phytosanitary products, irrational deforestation, forest fires, inadequate grazing, etc.), causing a decrease in the natural fertility of the surface horizon, more accentuated in regions with little biomass production. That is why, the introduction of fertilizers of organic origin is of utmost importance in the current moments in which steps are taken to change the so-called modern agriculture, for biological or agroecological agriculture. The application of effluent from the swine biogas plant is an effective organic fertilizer, as a source of organic matter and improving the physical, chemical and biological properties of agricultural soils, taking into account the large amount of solid and liquid effluents that they are generated as residual products of the gas production process, their agronomic effect was evaluated in the Inesita Farm located in Pedro Pí, Mayabeque province with the cultivation of garlic var. Chilean, on a Red Ferralitic soil, and tomato var. 43 on Yellowish Ferralitic soil, the grooves were 20m long, the amount of effluent corresponding to the tonnages consisted of: for 4 tn (20kg), 6 tn (32kg), 8 tn (40kg), the furrows were replicated 4 times and in the case of garlic the diameter and weight in grams of 20 bulbs and the weight in kg were evaluated for the total yield and in the tomato the number of fruit and the fruit were measured in 10 plants Total weight in kg. The results showed that there was a slight increase in the chemical properties of the soil after harvests in the content of Organic Matter, Phosphorus (P_2O_5), Potassium (K_2O), Calcium (Ca), and a decrease in sodium concentrations, situation which could favor that the aggregates of the soil were more stable and it was observed that the use of effluent (solid) in garlic and tomato crops increased yields of 5,74 and 72,88 kg,ha⁻¹ with the highest applications exceeding the control by 1,84 and 19,4 kg,ha⁻¹,

Key words: culture, yield, application dose

Introducción

Los suelos agrícolas sufren un desequilibrio en el mantenimiento de niveles estables de materia orgánica (MO) debido a diversas razones (excesivo laboreo, producción intensiva, uso de fitosanitarios, deforestaciones irracionales, incendios forestales, pastoreo inadecuado, etc.), ocasionando una disminución de la fertilidad natural del horizonte superficial, más acentuada en regiones con poca producción de biomasa.

Como consecuencia de ello se presentan problemas ambientales tales como mayor erosión, poca infiltración y menor capacidad de almacenamiento de agua, dificultad para el desarrollo radical y deficiente establecimiento de poblaciones microbianas benéficas [Dalal y Mayer, 1986; Azevedo *et al.*, 2003].

Las excretas de animales, vistas por muchos como un contaminante ambiental, pueden generar recursos valiosos mediante su procesamiento anaeróbico en biodigestores, de tal forma que al reciclarse, parte de la energía y de sus nutrientes favorezcan la sustentabilidad de la producción animal y al mismo tiempo aprovechar los desechos orgánicos [Soanes, 2008].

Desde el punto de vista agrícola, con este proceso se obtiene un material maduro, estable e higienizado, con un alto contenido en materia orgánica, que puede ser utilizado sin riesgo en la agricultura, por ser inocuo y no contener sustancias fitotóxicas, favoreciendo el crecimiento y desarrollo de las plantas, [Soliva, 2006].

La introducción de fertilizantes de origen orgánico resulta de suma importancia en los momentos actuales en que se dan pasos para cambiar la llamada agricultura moderna, por la agricultura biológica o agroecológica, [Funes, 2009].

El uso de abonos orgánicos constituye una práctica común en la agricultura de Cuba y varios países del mundo, debido fundamentalmente al papel crucial que estos cumplen en la nutrición de los cultivos agrícolas y su influencia en la actividad fisiológica de las plantas [Medina, 2004].

Es por ello, que la introducción de fertilizantes de origen orgánico resulta de suma importancia en los momentos actuales en que se dan pasos para cambiar la llamada agricultura moderna, por la agricultura biológica o agroecológica [Medina, 2004; Funes, 2009].

Con el objetivo de encontrar soluciones alternativas a esta problemática, se desarrolló un experimento en la

Finca la Inesita en las áreas de cultivo de Pedro Pi, para evaluar la efectividad del efluente de biogás en los cultivos de ajo y tomate.

Materiales y métodos

La investigación en los cultivos de ajo (*Allium sativum*) var. Chileno y tomate (*Lycopersicon esculentum*) var. L43 se desarrollaron sobre un suelo Ferralítico Rojo y Ferralítico Amarillento respectivamente [Instituto de Suelos, 1999], ubicado en la Finca la Inesita de Pedro Pi en el municipio San José de las Lajas, provincia de Mayabeque. El esquema experimental aparece en la Fig. 1.

Se caracterizó el efluente cuyos resultados se muestran en la tabla 1 y se realizó el análisis de suelo antes de la aplicación del efluente y al final de la cosecha de ambos cultivos, cuyas características se reflejan en la tabla 2.

El efluente estuvo constituido mayormente por la materia orgánica oxidable, Ca, N y P, condicionado por la alta carga orgánica presente en las excretas en relación directa con la base alimentaria, es de destacar, que aunque los niveles de potasio hallados en el efluente son bajos fueron comparados con los abonos orgánicos más utilizados en la agricultura, su contenido en este tipo de residuos se considera relativamente bajo, debido a que este elemento es muy soluble en agua y gran parte se pierde una vez depurada el agua, fenómeno que fue descrito anteriormente por Soliva [2000] y Shober *et al.* [2003].

La relación C/N del efluente se encuentra dentro del rango informado por Shober *et al.* [2003] para los abonos orgánicos más utilizados en la agricultura y fue similar al encontrado en el humus de lombriz, el cual varía 10/1-13/1.

Esta baja relación indica que la materia orgánica presente en el efluente, es un material estabilizado y con nivel avanzado de mineralización, lo que evidencia que este residuo es una fuente potencial de nutrientes.

El pH mostró valores cercanos a la neutralidad, lo que puede propiciar que cuando se aplique al suelo actúe como corrector de este parámetro, en los casos en que sus magnitudes estén por debajo o por encima del neutro [Azevedo *et al.*, 2001]. Este aspecto, es importante ya que a valores de pH cercanos a la neutralidad los macronutrientes tienen alta movilidad en el suelo y su mayor tasa de asimilación por las plantas; mientras que la absorción de los metales pesados por las mismas se ve limitada y de esta manera se evita que las plantas absorban niveles extremadamente excesivos o tóxicos de estos elementos, fenómeno que suele ocurrir en plantas desarrolladas en sustratos con pH ácido como ha sido informado por Matolva *et al.* [1989].

La conductividad eléctrica se halló entre los niveles aceptados para este tipo de residuo, por lo que la incorporación de este efluente al suelo, no debe influir en el poder de infiltración de las sales ni obstaculizará la absorción, tanto del agua como de otros iones presentes en el suelo, que incidirán directamente en las plantas o cultivos [Seoáñez, 2000].

En el proceso de digestión anaerobia actúan diversos microorganismos que facilitan la degradación de la materia orgánica, el efluente estabilizado, que se obtiene de este proceso no es putrescible y su contenido en organismos patógenos es nulo o muy bajo. Esta conversión biológica del sustrato complejo, en el que se encuentra la materia orgánica en suspensión o disuelta, se realiza a través de una serie de reacciones bioquímicas que transcurren tanto consecutiva como simultáneamente [Strauss, 1985; Cairncross *et al.*, 1990; Vives, 2003; Jiménez *et al.*, 2010]. Todo lo anterior evidencia que el proceso de depuración mediante digestión anaerobia operó en el período de estudio de manera eficiente, lo que se refleja con lo mostrado en la tabla 3.



Fig. 1. Esquema experimental del Ensayo de Campo.

Tabla 1. Caracterización química de los efluentes de los biodigestores

Muestra	%							ms/cm	
	M.O	Ca	N	P	Mg	K	C/N	pH	CE
Pedro Pi	48	8,5	2,3	1,6	1,3	0,9	13/1	7,3	1,2
Metales pesados (mg kg ⁻¹ base seca)									
	Cd	Cr	Cu	Co	Ni	Pb	Zn	Mn	
	0,60	7,21	4,20	0,30	0,80	20,9	13,4	23,7	

Tabla 2. Principales características químicas de los suelos

Momento de muestreo	Tipo de Suelo	%		mg.kg ⁻¹			cmol.kg ⁻¹		
		M.O	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Na	K
inicio	Ferralítico Rojo	2,13	7,20	217,57	245,31	10,3	2,20	0,15	1,03
Final	Ferralítico Rojo (T)	2,44	7,10	220,22	248,58	9,2	2,00	0,13	1,01
	4 tn	2,62	7,00	275,32	296,62	10,6	2,10	0,12	1,25
	6 tn	2,66	7,00	290,67	298,28	10,8	2,50	0,13	1,30
	8 tn	2,88	6,80	295,41	301,25	12,0	2,40	0,12	1,35

Tabla 3. Análisis de microorganismos patógenos en muestras del efluente líquido residual de la planta de biogás La Inesita en Pedro Pi

Efluente (muestra)	Determinación solicitada			
	Coliformes totales NMP/100ml	Coliformes fecales NMP/100ml	<i>Salmonella</i> ssp. (P/A)	<i>Vibrio cholerae</i> (P/A)
1	90	8	Ausente	Ausente
2	92	<1,8	Ausente	Ausente
3	62	<1,8	Ausente	Ausente

Dónde: NMP: Número más probable

Evaluación agronómica del efluente

El efluente fue evaluado como enmienda orgánica en el cultivo de ajo y tomate para demostrar científicamente sus comportamientos en los indicadores de rendimientos de ambos cultivos, reflejando en este sentido resultados positivos en cuanto al peso del bulbo, número y peso del fruto con un rendimiento beneficioso de 5,74 y 72,88 kg.ha⁻¹ respectivamente, con las mayores aplicaciones de efluentes superando al testigo en 1,84 y 19,4 kg.ha⁻¹ en ambos cultivos (Tabla 4).

Las evidencias de los incrementos de producción en 1,84 y 19,4 kg.ha⁻¹ en ambos cultivos, con la incorpora-

ción de los efluentes (6 y 8 tn.ha⁻¹) no son solamente el resultado de un mayor aporte de nutrientes a los cultivos, sino que son producto de las mejoras en las propiedades químicas del suelo, receptor de estos materiales orgánicos [Seoáñez, 2008; Soliva, 2001].

El uso de los efluentes ha sido probado en varios países y en diferentes cultivos, reportando incrementos en las cosechas y mejoramientos en las propiedades del suelo [Kanwar *et al.*, 1993] a diferencia de los fertilizantes químicos que reducen la productividad de la tierra [Narain, 1990]. En Cuba se ha experimentado en cultivos de organopónicos y en el cultivo del frijol con buenos resultados [Negrín, 2012].

Tabla 4. Efecto de la aplicación de efluente de la planta de biogás sobre algunos parámetros de rendimientos del cultivo de ajo y tomate

Tratamientos	AJO			TOMATE		
	Diámetro (cm)	Peso g (20 bulbos)	Rendto kg.ha ⁻¹	Nº de fruto (10ptas)	Peso g(10ptas)	Rendto kg.ha ⁻¹
Control	5,00 ns	519,44 c	3,90 c	28 b	35,20 b	53,44 c
4 tn.ha ⁻¹	5,84 ns	600,43 b	4,50 b	25 c	36,66 b	56,36 b
6 tn.ha ⁻¹	6,24 ns	725,25 a	5,44 a	35 a	41,27 a	72,88 a
8 tn.ha ⁻¹	6,27 ns	765,21 a	5,74 a	35 a	41,02 a	72,30 a
CV %	15,14	3,91	3,94	4,91	4,48	1,19

Medias en una columna con letras distintas, son diferentes significativamente para $p \leq 0,05$ de acuerdo con la prueba de rangos múltiples de Duncan.

Conclusiones

El efluente líquido no presenta signos de contaminación por microorganismos patógenos perjudiciales para la salud humana, aunque se recomienda su monitoreo constante.

Los impactos ambientales obtenidos confirmaron que el efluente de las plantas de biogás es una alternativa viable y sostenible para la agricultura cubana.

La aplicación del efluente como enmienda orgánica incidió positivamente en el comportamiento de los indicadores químicos del suelo y contribuyó de manera favorable en la productividad agrícola de los cultivos de ajo y tomate, así como en el incremento de los rendimientos.

Referencias bibliográficas

- AZEVEDO, M.L., L. R. FERRACCIÚ Y L.R. Y GUIMARAES (2003). «Biosolids and heavy metals in soils». *Science of Agriculture*, 60:793-806.
- AZEVEDO, M. L., A. DE ROCHA, M. R. LIMA Y M. DE POHLMAN (2001). «Efeito residual do lodo de esgoto alcalinizado em atribui-

tos químicos e granulométricos de um cambissolo húmico». *Scientia Agraria*, 2(1-2):87-91.

- CAIRNCROSS, S. Y D. MARA (1990). «Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura». Organización Mundial de la Salud. Ginebra, p 210.
- DALAL R. C. Y R. J. MAYER (1986). «Long term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile». *Aust. J. Soil Res.* 24: 281-292.
- DUNCAN, D. (1954). «Multiple range and Multiple Test. Biometric». 1-8, 11-12.1954.
- FUNES-MONZOTE, FERNANDO R. (2009). *Agricultura con futuro. La alternativa agroecológica para Cuba*. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Cuba.
- INSTITUTO DE SUELOS (1999). «Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba». AGROINFO, MINAGRI. La Habana. 64 pp.
- KANWAR, S., H. NAYYAR AND D. WALIA (1993). «Influence of biogas slurry on germination and early seedling growth of bread wheat». *Biogas Forum III*. 54:10 – 11.

- MATOLVA, E., G. C. VITTI Y S. A. DE OLIVEI (1989). «Avalicao do estado nutricional das plantas: principios y aplicacoes». Piracicaba: Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p 201.
- MEDINA, N. (2004). «La biofertilización como alternativa dentro de la Agricultura Sostenible». En: IV Simposio Internacional sobre caracterización y manejo de micorrizas rizosféricas. INCA, La Habana, Cuba, p. 207.
- NARAIN, L. (1990). «Chemical fertilizers polluting land and water but NADEP compost offers solution». *BiogásFórum*. 40: 8 – 12.
- NEGRÍN A. Y YAMILÉ JIMÉNEZ PEÑA (2012). «Evaluación del efecto agroeconómico del biosólidos procedentes de una planta de tratamiento por digestión anaerobia de residuales pecuarios en el cultivo del frijol (*phaseolus vulgaris* L.)». INCA, Cultivos Tropicales, vol. 33, no. 2, p. 13-19 abril-junio. Cuba.
- SEOÁNEZ, C. M. (2000). *Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos*. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona.
- SEOÁNEZ, C. M. (2008). *Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. Barcelona: p.180.
- SHORBER, A., R. C. STEHOUWER Y K. MACNEAL (2003). «Eon.Farm assessment of biosolid effects on soil and crop tissue quality». *Journal of Environment quality*, 32(5):1873-1880.
- SOLIVA, M. (2006). «Aplicación de lodos resultantes de la depuración de aguas residuales urbana en la agricultura. IQPC». En: Fórum Internacional sobre tratamiento de lodos de depuradoras. Su minimización, valorización y destino final. Madrid, pp. 21.
- VIVES, C. (2003). Presentación y argumentación de un Sistema de tratamiento de cerdo por fermentación anaeróbica con recuperación de gas en Agrosuper. *Gestión Ambiental*, pp. 34.
- JIMÉNEZ, YAMILÉ L. VALDÉS, MILAGROS MARRERO, YANIA PÉREZ, VANIA VIDAL Y A. NEGRÍN (2010). «Caracterización del biosólidos generados por una planta de digestión anaerobia, perspectivas de utilización». *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, Volumen 17 (número 1).

Recibido: Enero 2019

Aceptado: Febrero 2019