



DIRECTOR GENERAL

Dr. C. Luis Bériz Pérez

EDITORES

M.Sc. Madelaine Vázquez Gálvez
Ing. Jorge Santamarina Guerra
Lic. Yahumila Hidalgo

CONSEJO EDITORIAL

M. Sc. Ramón Acosta Álvarez
Dr. C. Luis Bériz Pérez
M. Sc. Ricardo Bériz Valle
Dra. C. Leidy Casimiro Rodríguez
Ing. Otto Escalona Pérez
Dra. Cs. Dania González Couret
Ing. Miguel González Royo
Dr. C. José A. Guardado Chacón
Lic. Bruno Henríquez Pérez
Ing. Nilo Ledón Díaz
M. Sc. Martha Mazorra Mestre
Dr. C. Conrado Moreno Figueredo
Dr. C. Rafael Parúas Cuza
Dr. C. Joel Morales Salas
Dr. C. Daniel Stolik Novygrod
M. Sc. Madelaine Vázquez Gálvez

DISEÑO Y COMPOSICIÓN

Alejandro F. Romero Ávila

WEB MASTER

Omar Dieppa Castellanos

Eco Solar, no. 83 / 2023

Revista científica de las
fuentes renovables de energía
enero-diciembre, 2023
ISSN-1028-6004
RNPS-2220



PATROCINADORES

CETER



DIRECCIÓN

Calle 20, No. 4113,
entre calles 18A y 47,
Playa, La Habana, Cuba
TELÉFS.: (53) 72040010; 72062061

madelaine@cubasolar.cu

HTTP://www.cubasolar.cu



CONTENIDO

DISEÑO PRELIMINAR DE UN PARQUE EÓLICO PARA LA ZONA ESPECIAL DE DESARROLLO MARIEL (ZEDM).....	3
Conrado Moreno Figueredo, José. A. Medrano Hernández, Efrén Hernández Fernández y Orquídea López González	
TIPOS MORFOLÓGICOS Y MICROCLIMA URBANO EN LA HABANA.....	9
Dania González Couret, Lázaro Yerandy Morales Camacho, Natali Collado Baldoquin, Dayra Gelabert Abreu y Luis Alberto Rueda Guzmán	
ESTUDIOS PRELIMINARES DE LOS SUPLEMENTOS LÍQUIDOS DE NUTRIENTES PARA LA ALIMENTACIÓN DE CERDOS DURANTE LA ETAPA DE PRECEBA.....	22
Dayron Martín Prieto, Félix Ojeda García, Rafael Herrera González, Javier Arece García y Giraldo Jesús Martín Martín	
EMPLEO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA Y MÉTODOS DE INTEGRACIÓN DE PROCESOS EN LA INDUSTRIA LÁCTEA.....	29
Eliany de la Caridad Valera Sterling y Eduardo García Noa 29	
PROYECTO AMBIENTAL COMUNITARIO SALVEMOS A LA PETATE, LAS POZAS, MUNICIPIO BAHÍA HONDA, ARTEMISA.....	36
Julio Ismael Martínez Betancourt y Joel Reinoso Triguero	

editorial
cubasolar

DISEÑO PRELIMINAR DE UN PARQUE EÓLICO PARA LA ZONA ESPECIAL DE DESARROLLO MARIEL (ZEDM)

Por Dr. **Conrado Moreno Figueredo***, Dr. **José. A. Medrano Hernández****,
Lic. **Efrén Hernández Fernández*****, Lic. **Orquídea López González******

Centro de Estudio de Tecnologías de Energéticas Renovables, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae) La Habana, Cuba.

* <https://orcid.org/0000-0001-8986-3205>

E-mail: conrado@mecanica.cujae.edu.cu, conradomor2014@gmail.com

** <https://orcid.org/0000-0002-2404-3748>

E-mail: jmedrano@mecanica.cujae.edu.cu

*** <https://orcid.org/0009-0008-0005-9922>

E-mail: efren19980706hf@gmail.com

**** <https://orcid.org/0000-0003-3795-3166>

E-mail: orquidea@mecanica.cujae.edu.cu

Resumen

En todo el mundo se están cambiando las estrategias sobre el uso de combustibles fósiles y con ello, dando pasos firmes para el empleo de las energías renovables en la producción de electricidad. Cuba no está fuera de este panorama, por consiguiente, se están desarrollando algunos proyectos en ese sentido. El objetivo general de este estudio fue evaluar el potencial eólico en la Zona Especial de Desarrollo Mariel (ZEDM), seleccionar los aerogeneradores y proponer una disposición o configuración de un parque eólico para dicha zona, con el fin de favorecer la demanda eléctrica de este lugar y así, apoyar en la economía del país. Para cumplir dicho objetivo, fue necesario delimitar algunos conceptos sobre la temática en cuestión como parte del marco teórico de la investigación, tales como: energía eólica, procedencia, aprovechamiento y aplicaciones tanto a nivel internacional como en Cuba. En cuanto a la metodología, se emplearon diversos métodos para la estimación del potencial eólico de la zona de estudio. Una vez realizada esa estimación del recurso eólico en dicha zona, la siguiente etapa incluyó, la selección de los aerogeneradores a emplear donde se preseleccionaron cinco aerogeneradores como posibles candidatos para ser instalados en el emplazamiento. Por fin, se realizó un análisis económico preliminar determinando cuál de las propuestas presentadas es la propuesta más factible para la implantación de un parque eólico en ZEDM. De las comparaciones entre los cinco parques preseleccionados, se comprobó que el AEP y factor de capacidad máximos los conseguía el parque eólico conformado por aerogeneradores GW 109-2500, pero, el mejor rendimiento económico según los valores alcanzados por otros indicadores se produjo en el parque eólico compuesto por aerogeneradores E 82-2300, logrando así un parque eólico compuesto por cinco aerogeneradores Enercon E 82-2300 con un tiempo de recuperación de la inversión de seis años.

Palabras clave: energías renovables, potencial eólico, parque eólico, análisis económico.

PRELIMINARY DESIGN OF A WIND FARM FOR THE MARIEL SPECIAL DEVELOPMENT ZONE (ZEDM)

Abstract

Throughout the world, strategies on the use of fossil fuels are changing and with that, taking firm steps towards the use of renewable energies in the production of electricity. Cuba is not out of this panorama, therefore, some projects are being developed in this sense. The general objective of this study was to evaluate the wind potential in the Mariel Special Development Zone (ZEDM), select the wind turbines and propose a layout or configuration of a wind farm for this zone, in order to favor the electricity demand of this place and thus, support the country's economy. In order to fulfill this objective, it was necessary to delimit some concepts on the subject in question as part of the theoretical framework of the research, such as: wind energy, origin, use and applications both at international level and in Cuba. Regarding the methodology, several methods were used to estimate the wind potential of the study area. Once the estimation of the wind resource in the area was done, the next stage included the selection of the wind turbines to be used, where five wind turbines were pre-selected as possible candidates to be installed at the site. Finally, a preliminary economic analysis was carried out to determine which of the proposals presented was the most feasible proposal for the implementation of a wind farm in the ZEDM. From the comparisons between the five pre-selected wind farms, it was found that the maximum AEP and capacity factor were achieved by the wind farm composed of GW 109-2500 wind turbines, but the best economic performance according to the values reached by other indicators was achieved by the wind farm composed of E 82-2300 wind turbines, thus achieving a wind farm composed of five Enercon E 82-2300 wind turbines with an investment recovery time of 6 years.

Keywords: Renewable energy, wind potential, wind farm, economic analysis.

I. Introducción

La política energética cubana referida a la electricidad está dirigida a asegurar el suficiente suministro de esta energía acorde con el desarrollo energético esperado. La producción de energía eléctrica en Cuba depende mayoritariamente de combustibles fósiles, por lo cual, es de prioridad nacional, mejorar la eficiencia energética, maximizar la generación con el gas acompañante de petróleo nacional e incrementar la generación con fuentes renovables. Por otro lado, potenciar la eficiencia, el ahorro, el desarrollo energético sostenible y las fuentes renovables de energías están enmarcadas como segunda prioridad nacional en las áreas temáticas para el país. Como estrategias en este sentido, se han desarrollado grandes proyectos utilizando las energías renovables, como la energía eólica en parques de gran potencia algunos de estos ubicados en el oriente del país (Gibara I y II, y los parques eólicos en actual proceso de Herradura I y II) y la energía solar utilizada para la generación de pequeña y gran potencia, según datos suministrado por un colectivo de autores que aparecen referenciados con el trabajo titulado *Procedimiento para el estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental de parques eólicos* (Ojeda Pardo, 2021)

Como es bien sabido, la generación de energía eólica aumenta día a día, por lo que es de gran utilidad contar con una metodología rápida y precisa para diseñar un sistema eólico enfocado a suministrar electricidad. Precisamente este trabajo trata de la aplicación de una metodología para

diseñar este tipo de sistema de energía eólica a un caso de estudio: la Zona Especial de Desarrollo Mariel, en la provincia de Artemisa, Cuba.

Esta metodología está dirigida a evaluar y seleccionar el sitio más adecuado en la ZEDM para instalar un parque eólico que proporcione la máxima Producción Anual de Energía (PAE) y realizar un análisis financiero encaminado a determinar la rentabilidad del proyecto.

II. Materiales y métodos

En esta sección se presenta primero el paso inicial para la solución del problema planteado, es decir, la selección del sitio y luego la metodología aplicada para lograr el objetivo propuesto.

Selección del sitio del sistema de viento

Un paso importante y decisivo para aplicar la metodología es la identificación de las posibles ubicaciones para la instalación de los aerogeneradores. Para ello, es necesario tener en cuenta el recurso eólico un aspecto principal para identificar la correcta ubicación del aerogenerador.

Recurso Eólico

Uno de los aspectos más importantes a la hora de ubicar aerogeneradores es el recurso eólico disponible. La potencia de salida de la turbina eólica depende del cubo de la

velocidad del viento. Por lo tanto, es mejor ubicar las turbinas eólicas en áreas con altas velocidades medias del viento. Además, la velocidad del viento generalmente aumenta y la turbulencia disminuye al aumentar la altura sobre el suelo. Por lo tanto, las turbinas eólicas más altas generalmente producen más energía que las turbinas más cortas. La ubicación de las turbinas eólicas está subordinada a las características del recurso eólico, lo que incluye su disponibilidad, entre otros elementos. Por lo tanto, la producción de energía de un aerogenerador depende del rendimiento de la velocidad del viento, es decir, la mejor ubicación de los aerogeneradores es la mayor velocidad media del viento y la menor turbulencia (Figueredo, 2017).

Una propiedad importante del viento es el aumento de la velocidad del viento con la altura de la torre de la turbina eólica. En resumen, obtener información sobre el recurso eólico en el sitio seleccionado es un paso clave para el proceso de selección del sitio. Están disponibles dos fuentes habituales de recursos eólicos: mapas de recursos eólicos y mediciones de viento derivadas de campañas de medición de viento. El mapa de recursos eólicos es un buen punto de partida para identificar los sitios de un proyecto promisorio. La información presentada en los mapas de recursos eólicos es diferente. Por lo general, la mayoría de los mapas de viento indican la velocidad media estimada del viento a largo plazo y la densidad de potencia eólica media esperada en vatios por metro cuadrado de área de barrido del rotor. En Cuba los mapas de recursos eólicos están disponibles en el Instituto Meteorológico y aparecen referidos en Figueredo, 2017.

Los detalles sobre la evaluación del recurso eólico en el sitio seleccionado se encontrarán en la sección referente a la aplicada metodología.

Ubicación del sitio

El sitio de emplazamiento se ubica en la Zona Especial de Desarrollo Mariel, la cual se localiza al oeste de La Habana, a una distancia de 45 km de esta y con una extensión de $465,4 \text{ km}^2$. La zona cuenta con condiciones logísticas y ubicación muy favorables, especialmente a partir de la inversión realizada en el puerto de Mariel (Fig. 1).

El emplazamiento se caracteriza a nivel geográfico por las características siguientes:

- Presencia del Océano Atlántico al Norte, con entrada del mismo a través de la Bahía del Mariel.



Fig. 1. Ubicación del emplazamiento.

- Orografía suave con alturas máximas de 60 m y suaves pendientes en todas las direcciones, a excepción de los más próximos al mar.
- Tipo y altura de vegetación variable: desde vegetación de pequeña altura, arbustos de media altura y arbolado aislado de altura superior.

Metodología

En la actualidad existen diferentes metodologías de diseño de sistemas eólicos para la generación de energía eléctrica. Uno de ellos es la metodología aplicada para el diseño de este sistema de generación de energía propuesto en este proyecto, el cual está basado en tres pasos cruciales, e incluye un análisis financiero con los resultados correspondientes en el área de estudio. Las publicaciones de Moreno 2007, 2012, 2017 y Rodríguez 2021 explican los principios fundamentales para la aplicación del diseño de sistemas eólicos.

Basado en el análisis de lo descrito por los autores anteriormente citados se definieron los pasos siguientes para el presente estudio:

- Evaluación del recurso eólico. Evaluar y seleccionar un sitio apropiado para el sistema eólico conectado a la red con una condición de viento favorable.
- Estimación de energía. Conocer la compatibilidad de los futuros aerogeneradores que dan la máxima Producción Energética Anual (PAE).
- Análisis financiero. Evaluar la rentabilidad y los gastos de la energía eólica en el sitio seleccionado.

Evaluación del recurso eólico

Para la estimación preliminar del potencial eólico de la ZEDM se empleó el método de los mapas eólicos porque permite tener una idea aproximada del recurso eólico en ausencia de mediciones de vientos como es el caso de este proyecto, donde no se tiene acceso a los datos provenientes de una campaña de medición.

Para dicha estimación preliminar del potencial eólico se tomaron los resultados del *Atlas Eólico Mundial*, el cual es una aplicación gratuita basada en la web y desarrollada para ayudar a los inversionistas a identificar zonas de alto viento para la generación de energía eólica prácticamente en cualquier parte del mundo, y luego, realizar cálculos preliminares (ver World Bank 2023).

Para el uso de la herramienta de Atlas Eólico Mundial en este proyecto se ubicaron las coordenadas de la ZEDM ($23^{\circ}01'21''\text{N}-82^{\circ}41'57''\text{W}$) donde se obtuvo un mapa de viento, la dirección del viento (en una rosa de los vientos), y los datos de velocidad promedio mensual. Además, esta web facilita información en formato de archivo GWC, que se deriva de una celda de cuadrícula del modelo de mesoescala, más cercana al centro del área seleccionada; teniendo en cuenta que el archivo GWC varía de una celda de cuadrícula de mesoescala a la siguiente, por lo que para las áreas extensas seleccionadas puede haber una variación significativa del GWC. El archivo GWC se diseñó para ser utilizado en un software de modelado a microescala, tal como Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP). El formato de archivo es WASP lib-file (ver World Bank 2023).

Como se mencionó anteriormente se descargaron los datos de velocidad y dirección de viento para la ZEDM (medidos a una altura de 10, 50, 100 y 150 m) mediante el Atlas Eólico Mundial y posteriormente, se introdujeron los datos en el software WASP versión 9.0 (como se muestra en la Fig. 2 donde se aprecian los datos de densidad de potencia y los coeficientes de forma (k) de la distribución de Weibull para cada sector, altura).

Mediante el valor de la velocidad media del viento y la densidad de potencia del lugar se puede evaluar cuantitativamente el potencial eólico a través de ese valor de 317 W/m².

Mediante el valor de la velocidad media del viento y la densidad de potencia del lugar se puede evaluar cuantitativamente el potencial eólico de la ZEDM a través de ese valor de 317 W/m², como un buen potencial, por lo cual el emplazamiento presenta condiciones óptimas para el desarrollo de un parque eólico.

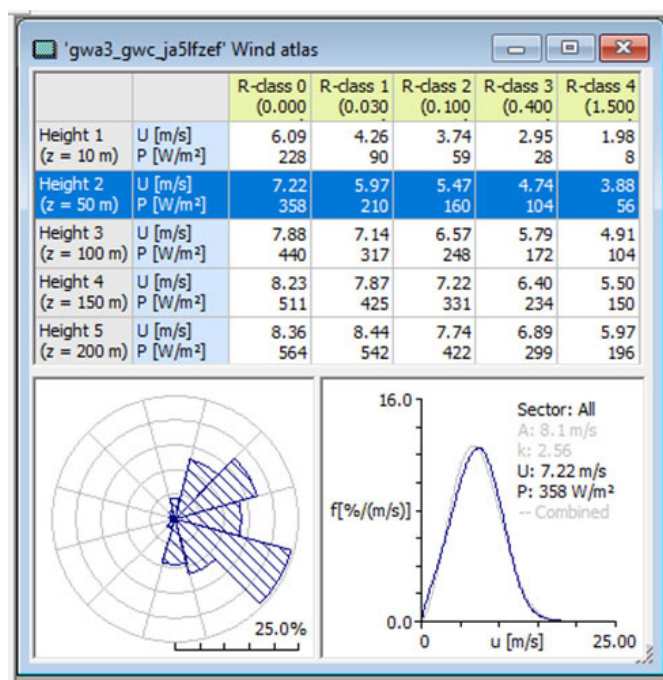


Fig. 2. Datos de dirección y velocidad de vientos para la ZEDM en el software WASP.

Estimación anual de energía

Si tenemos en cuenta las velocidades medias del viento en el sitio de estudio y la experiencia de otros proyectos desarrollados en Cuba, como el actual parque eólico Herradura I (Menzonay 2023; Labrador 2023; Wind Energy Market Intelligence 2023), se puede plantear que turbinas entre 1500 kW y 2500 kW podrían satisfacer parte de la demanda energética de la Zona Especial de Desarrollo Mariel.

Tras el estudio eólico realizado anteriormente, corresponde ahora la selección del aerogenerador para el parque eólico. Para ello se tuvo en cuenta la capacidad del emplazamiento en cuanto a la cantidad de máquinas que se pueden implantar, dando un total de cinco turbinas eólicas para el emplazamiento, teniendo como referencia diámetros de rotor que varíen desde los setenta metros hasta los ciento diez metros, teniendo en cuenta las distancias entre aerogeneradores de cinco veces el diámetro para dirección predominante del viento y 2.5 el diámetro para la dirección perpendicular predominante. Debido a lo antes expuesto, se

preseleccionaron cinco aerogeneradores para el sitio seleccionado como posibles candidatos para ser instalados en la ZEDM.

1. Goldwind GW 87-1500
2. Goldwind GW 109-2500
3. Enercon E 82-2300
4. Enercon E 70-2300
5. Hitachi HTW 80-2000

El proceso de selección del aerogenerador más rentable se basó inicialmente en la evaluación del rendimiento de cada aerogenerador estimando su producción anual de energía (PAE).

Con la ayuda del software WASP se obtuvieron los datos de la PAE para cada parque eólico preseleccionado como se muestra en la Tabla 1. Primeramente, se modelizó el emplazamiento con un mapa vectorial que refleja la rugosidad del sitio y posterior a ello se añadieron las características de vientos que se determinaron al inicio (Ver Figura 2).

Tabla 1. Producción anual de energía de los parques eólicos seleccionados

No.	Parques eólicos	PAE (GWh/año)
1	GW 87-1500	26.32
2	GW 109-2500	44.619
3	E 82-2300	28.697
4	E 70-2300	22.764
5	HTW 80-2000	26.332

Para comparar el rendimiento de los parques eólicos seleccionados se suele utilizar el Factor de Capacidad (CF). Este cálculo se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Factor de capacidad de los parques eólicos seleccionados

No.	Parques eólicos	FC (%)
1	GW 87-1500	40.0608828
2	GW 109-2500	40.74794521
3	E 82-2300	28.4862021
4	E 70-2300	22.5967838
5	HTW 80-2000	30.05936073

Teniendo en cuenta que el parque conformado por el aerogenerador GW 109-2500 posee la mayor PAE y alcanza el mayor factor de capacidad, se seleccionó de manera preliminar, como propuesta de parque eólico para ZEDM.

Análisis financiero

El último paso se refiere al análisis financiero realizado para medir la rentabilidad del proyecto mediante la selección del parque eólico óptimo desde el punto de vista de los resultados económicos y financieros.

Análisis financiero de la energía eólica debe considerar varios aspectos básicos:

- Costos totales de inversión o costos de capital
- Costos anuales de explotación (costos de O&M)
- Costos de financiamiento

Costo total de inversión una instalación de energía eólica es igual a la suma de varios parámetros como:

$$C_t = C + C_1 + C_2 + \text{Otros} \quad (1)$$

Donde: C_t = costo total, C = costo de las turbinas eólicas, el montaje, el transporte marítimo, el transporte terrestre, la grúa y los trabajos de grúa, y la instalación, C_1 = costo de fundición, accesos viales y obras civiles, C_2 = costo eléctrico, trincheras, equipos eléctricos, subestación, edificio de control, líneas aéreas y de componentes.

La estimación de los costes totales de inversión para cada parque eólico seleccionado se presenta en la Tabla 3:

Tabla 3. Costes totales de inversión de los parques eólicos seleccionados

No	Parques eólicos	Inversión total (USD)
1	GW 87-1500	20423940.15
2	GW 109-2500	34039900.25
3	E 82-2300	31316708.23
4	E 70-2300	31316708.23
5	HTW 80-2000	27231920.2

Según Moreno (2017) y Calzadilla (2017), los costos de operación y mantenimiento (O&M) constituyen una parte considerable de los costes totales de un aerogenerador. Para una nueva turbina eólica, los costos de operación y mantenimiento pueden representar fácilmente el 20-25 % del costo total de electricidad por kWh producido durante la vida útil de la turbina. Los costos de O&M incluyen seguro, mantenimiento regular, reparación, repuestos y administración (Moreno, 2007; Moreno, 2017; Ojeda Pardo, 2021).

Existen varios indicadores importantes que se pueden utilizar para evaluar la viabilidad financiera del proyecto en función de una descripción completa de los beneficios y costos. Se podrían utilizar los siguientes indicadores económicos:

- Valor Actual Neto (VAN)
- Período de Recuperación (TIR)
- Costo de la energía

El VAN se utiliza para analizar la viabilidad de la inversión.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Q}{(1+r)^t} - A \quad (2)$$

Dónde: Q = flujo de caja y r es la tasa de descuento
El proyecto es factible si el valor del VAN resulta positivo

El TRI es el tiempo en que se espera recuperar la inversión.

$$A = \sum_{t=1}^n \frac{Q}{(1+r)^t} \quad (3)$$

El costo de la energía es el costo real para producir un kilovatio hora con energía eólica.

$$Costo_{Energia} = \frac{C_\alpha + C_{O\&M}}{Et} \quad (4)$$

Donde: C_α = Costo anual del capital, $C_{O\&M}$ (O&M)= Et Costo anual por O&M y Et = Producción anual de energía (PAE).

III. Resultados

En cada apartado se han presentado los resultados parciales. Sin embargo, el principal resultado está relacionado con la selección del mejor parque eólico. Como se mencionó anteriormente, se preseleccionaron cinco parques eólicos compuestos por cinco aerogeneradores diferentes, para finalmente seleccionar el más adecuado. Se obtuvo la Producción Anual de Energía (PAE) de cada parque eólico mediante el software WASP. Estos resultados se muestran en la Tabla 1. Teniendo en cuenta que el parque eólico conformado por el aerogenerador GW 109-2500 posee la mayor PAE y alcanza el mayor factor de capacidad no es el más factible para este emplazamiento, según los aspectos económicos analizados anteriormente.

De los cinco parques eólicos preseleccionados, según el análisis financiero, tres de ellos no son factibles debido a que poseen valores de VAN negativos, por lo que se desechan automáticamente quedando solamente el parque eólico que posee las maquinas GW 109-2500 y el parque eólico dotado con aerogeneradores E 82-2300. En la Tabla 4 se muestran los resultados del análisis financiero de estas dos propuestas.

De los dos parques eólicos preseleccionados, según el análisis financiero, el más adecuado desde el punto de vista económico-financiero es el parque eólico conformado por cinco aerogeneradores de la compañía alemana Enercon E 82-2300.

La selección del parque eólico compuesto por 5 aerogeneradores E 82-2300 se realizó teniendo en cuenta que este modelo presenta los mejores indicadores incluso con el costo unitario de la energía eléctrica, siendo menor que

Tabla 4. Indicadores económicos

Parques eólicos	AEP (GWh-año)	VAN	TRI (Años)	FC (%)	LCOE (USD-kWh)
GW 109-2500	44.619	312168.4069	6	40.74794521	0.136882259
E 82-2300	28.697	39277911.77	6	28.4862021	0.189345867

el costo de la energía producida por combustibles fósiles. Con este resultado, se ha cumplido el objetivo principal de este trabajo.

III. Conclusiones

El trabajo ofrece una metodología para realizar un diseño preliminar de un sistema eólico para la Zona Especial de Desarrollo Mariel ubicada en la provincia de Artemisa, Cuba. El objetivo de este sistema eólico es apoyar la demanda de electricidad de esta zona.

Esta metodología se aplicó al caso de estudio y se extrajeron las siguientes conclusiones:

- La selección del emplazamiento se realizó satisfactoriamente teniendo en cuenta una consideración determinante para asegurar la competitividad del sistema de estudio como es la potencialidad del viento.
- Utilizando el mapa de potencial eólico de Cuba se realizó la evaluación del viento y se demostró que la velocidad del viento es favorable para el aprovechamiento de la energía eólica en el sitio seleccionado. Una velocidad media anual del viento de 6.76 m/s a 80 metros de altura es adecuada para este fin. Se obtuvieron los valores del factor de forma k y del factor de escala c de la distribución de Weibull mediante software WASP.
- Se preseleccionaron cinco propuestas de parques eólicos diferentes con el fin de encontrar la más apropiada económicamente y como resultado final seleccionar la más adecuada. Los indicadores económicos utilizados fueron el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TRI), el factor de capacidad económica de la producción de energía anual bruta (FC) y el valor del costo unitario de la electricidad producida (LCOE).
- De las comparaciones entre los cinco parques preseleccionados, se comprobó que el AEP y factor de capacidad máximos los conseguía el parque eólico conformado por aerogeneradores GW 109-2500, pero, el mejor rendimiento económico según los valores alcanzados por los indicadores VAN, TRI, FC y LCOE se produjo en el parque eólico compuesto por aerogeneradores E 82-2300.
- Por fin, en el presente estudio se demuestra que esta sencilla metodología puede aplicarse en casos similares. Además, se confirmó y se demostró la hipótesis de este proyecto. Si es posible disminuir el consumo eléctrico de la red eléctrica, con la instalación de un parque eólico en la Zona Especial de Desarrollo Mariel ubicada en la costa Norte de la provincia Artemisa, mediante un parque eólico compuesto por 5 turbinas de gran potencia. Esto se logró mediante el aerogenerador seleccionado Enercon E 82/2300 de 2,3 MW de potencia nominal y el uso de la herramienta WASP.

V. Referencias bibliográficas

- Iglesias Calzadilla, R. (2017). Generación distribuida interconectada a la red con aerogeneradores de mediana escala. Caso de estudio: Hotel Brisas Guardalavaca, Holguín. Tesis de Diploma, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de Holguín, Holguín, Cuba.
- Labrador Herrera, L.(8 de enero 2023). ¿Podría ser Las Tunas capital de las fuentes renovables de energía en Cuba?. *Períodico 26*.ISSN:1606-4984. <http://www.periodico26.cu/index.php/es/especiales-2/11491-podria-ser-las-tunas-capital-de-las-fuentes-renovables-de-energia-en-cuba>.
- Menzonay Justiz, D. (14 de enero 2023 En La Herradura 1 soplan vientos de avance, *Períodico 26*.ISSN:1606-4984. <http://www.periodico26.cu/index.php/es/especiales-2/11491-en-la-herradura-1-soplan-vientos-de-avance>
- Moreno Figueredo, C.(2007). *Diez preguntas y respuestas sobre energía eólica*. La Habana: Editorial Cubasolar. ISBN:978-959-7113-37-9.
- Moreno Figueredo, C.(2012). *Energía eólica, tecnologías y aplicaciones*. La Habana: Ed. Academia.
- Moreno Figueredo, C. y Castro Fernández, M. (2017). *Doce preguntas y respuestas sobre energía eólica*.La Habana: Editorial Cubasolar. 336 p. ISBN:978-959-7113-51-5.
- Ojeda Pardo, R. *et al.*, (2021). Procedimiento para el estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental de parques eólicos: Caso de estudio parques de Gibara, Holguin. *Polo del Conocimiento*, Vol. 6, no. 6, ISSN 2250 – 682X,DOI: 10.2.23857/pc.v6i6.2754. <http://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es>.
- Rodríguez Tarifa , R. (2021), Diseño de un sistema eólico para el suministro de electricidad al Hotel Covarrubias, Las Tunas, Tesis de fin de carrera, Universidad Tecnológica de la Habana Jose Antonio Echeverría (Cujae), La Habana, Cuba, 102 páginas.
- Wind Energy Market Inteligence (2023), *The wind power* https://www.thewindpower.net/windfarm_es_30806_la-herradura-1.php.
- World Bank, Global Wind Atlas, Enero 31, 2023, datacatalog.worldbank.org, [www.http://globalwindatlas.info/es/about/introduction](http://globalwindatlas.info/es/about/introduction)). 31 marzo 2023.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Conrado Moreno Figueredo: conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, redacción-revisión y edición; José . A. Medrano Hernández: investigación, metodología y supervisión; Efrén Hernández Fernández: investigación, redacción-borrador original; Orquídea López González.

Recibido: 25 de agosto de 2023

Aceptado: 12 de septiembre de 2023

TIPOS MORFOLÓGICOS Y MICROCLIMA URBANO EN LA HABANA

Por Dr. Cs. **Dania González Couret ***, Arq. **Lázaro Yerandy Morales Camacho****,
Dr. C. **Natali Collado Baldoquin*****, Dr. C. **Dayra Gelabert Abreu****** y Dr. C. **Luis Alberto Rueda Guzmán*******

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana, Cuba

* <https://orcid.org/0000-0002-1406-4588>

E-mail: daniagcouret@gmail.com

** <https://orcid.org/0000-0001-5752-7696>

E-mail: lyerandymc@gmail.com

***<https://orcid.org/0000-0003-4248-9708>

E-mail: colladobaldoquin@gmail.com

**** <https://orcid.org/0000-0002-7765-7217>

E-mail: dayragelabert@gmail.com

*****<https://orcid.org/0000-0001-6549-3975>

E-mail: ruedaguz72@gmail.com

Resumen

Problemática: Las potencialidades para la adaptación del hábitat urbano al calentamiento global dependen de la morfología urbana y los elementos modificadores.

Objetivo(s): Presentar los resultados de la clasificación de los tipos morfológicos urbanos identificados en la ciudad de La Habana según las variables y parámetros que condicionan su microclima y la evaluación preliminar de su desempeño.

Metodología: La caracterización, clasificación y evaluación cualitativa se realizó a partir de una investigación teórica sobre las variables, parámetros e indicadores morfológicos que condicionan el microclima térmico urbano. La etapa empírica de la investigación fue dirigida a verificar la evaluación cualitativa, mediante el trabajo de campo y una campaña de monitoreo preliminar realizada en mayo de 2023 en seis zonas urbanas de la ciudad. En cada una de las zonas urbanas objeto de estudio también se realizaron mediciones continuas en un punto de referencia y los resultados fueron comparados con los datos registrados en la estación meteorológica de Casablanca.

Resultados y discusión: Aunque se registraron valores de las variables climáticas temperatura del aire, humedad relativa, temperatura radiante, velocidad y dirección del viento, la presente ponencia solo recoge los resultados de la discusión del comportamiento de las temperaturas.

Conclusiones: La investigación empírica realizada permitió verificar la validez de los criterios previamente asumidos para la evaluación cualitativa, así como la influencia relativa de variables como la sección de vía, y modificadores como la orientación y la vegetación.

Palabras clave: *microclima urbano, tipos morfológicos urbanos, monitoreo del ambiente térmico exterior, La Habana.*

MORPHOLOGICAL TYPES AND URBAN MICROCLIMATE IN HAVANA

Abstract

Problem: Potentialities for the adaptation of the urban habitat to the global warming depend on the urban morphology and the modifier elements.

Objective(s): To present the results of classifying the morphological types identified in Havana, according to variables and parameters conditioning their microclimate, as well as the preliminary assessment of their performance.

Methodology: The characterization, classification and qualitative assessment was made based on a theoretical research about morphological variables, parameters and indicators conditioning the thermal urban microclimate. The empiric step of the research was focused on verifying the qualitative assessment, by a field work and a preliminary monitoring campaign carried out in May, 2023, in six urban ones of the city. Continue measurements were also developed in each study case, as a reference point, and the results were compared to the data registered at the meteorological station.

Results and discussion: Although values of the climatic variables air temperature, relative humidity, radiant temperature, wind speed and direction were recorded, this paper only presents the results the discussion of the temperatures behaviour.

Conclusions: The empirical research carried out allowed us to verify the validity of the criteria previously assumed for the qualitative evaluation, as well as the relative influence of variables such as aspect ratio, and modifiers such as orientation and vegetation.

Keywords: *Urban microclimate, Urban morphological types, Outdoor environment monitoring, Havana.*

1. Introducción

Los estudios de microclima urbano comenzaron a escala internacional en la década de los años ochenta del pasado siglo, a partir del reconocido fracaso del modelo de urbanización abierta promovido por el movimiento moderno (Alfonso *et al.*, 2009). No obstante, lo complejo del tema no permite aún llegar a conclusiones definitivas en cuanto a la influencia de los parámetros morfológicos en el ambiente térmico, sobre todo en regiones menos desarrolladas con clima cálido-húmedo como el de Cuba. El calentamiento global obliga a acelerar las investigaciones sobre el tema en aras de buscar formas de adaptación en las ciudades, según el clima, los tipos morfológicos y las condiciones socioeconómicas.

En la presente ponencia se exponen los resultados de la identificación, caracterización y evaluación de tipos morfológicos urbanos en La Habana según su influencia en el ambiente exterior, sobre la base de las variables, parámetros e indicadores propuestos en el marco teórico de la investigación (González Couret *et al.*, 2023). A partir de la evaluación cualitativa preliminar de los tipos urbanos identificados, se han seleccionado casos de estudio cuyo microclima térmico ha sido monitoreado con vistas a verificar la validez de la evaluación cualitativa inicial. En el trabajo se discuten los resultados preliminares de esa etapa inicial de la investigación experimental exploratoria. Aunque se registraron valores de las variables climáticas temperatura del aire, humedad relativa, temperatura radiante, velocidad y dirección del viento, la presente ponencia solo recoge los resultados de la discusión del comportamiento de las temperaturas.

2. Materiales y métodos

En la primera etapa de la investigación se había definido el modelo teórico- metodológico que serviría de base para la caracterización, clasificación y evaluación de los tipos morfológicos en las siguientes etapas (González Couret *et al.*, 2023), a partir del cual se elaboró una Guía de Observación que tiene en cuenta los parámetros clave de la geometría de las vías y la masa edificada, y de forma independiente los considerados como modificadores de su comportamiento (González Couret *et al.*, 2016).

Para identificar y clasificar los tipos morfológicos se tuvieron en cuenta los criterios teórico-metodológicos elaborados, así como resultados de investigaciones precedentes sobre morfologías urbanas en la ciudad de La Habana (DPPF - CH, 2007 y 2009; González Couret, 2011, Fernández Figueroa, 2015; Gelabert Abreu; 2014; Sánchez Martínez, 2015) y otras, como la utilizada por Castro Conrado *et al.* (2014) para Sagua la Grande, en cuya clasificación de las Zonas Tipológico Formales (ZTP) se hace mucho énfasis en la tipología arquitectónica.

La observación preliminar de las diferentes morfologías urbanas presentes en La Habana mediante imágenes satelitales, planos y trabajo de campo permitió definir los parámetros clave para la identificación, clasificación y evaluación de los tipos morfológicos desde el punto de vista de su influencia en la isla de calor. Una vez identificados estos parámetros clave y los rangos de indicadores para caracterizarlos sobre la base de las investigaciones teóricas y la observación empírica, se elaboró un código que permitiera identificar cada tipo y clasificarlo según sus características esenciales, que quedaron plasmadas en fichas que contienen el tipo genérico y su manifestación concreta en la ciudad, en sus diferentes variantes específicas según los valores asumidos por los parámetros considerados modificadores del efecto de la geometría. Cada uno fue localizado en el plano de la ciudad.

El paso siguiente consistió en la evaluación cualitativa preliminar de cada uno. Para ello se partió de la información bibliográfica recopilada sobre los parámetros identificados y los criterios valorativos emitidos en las fuentes consultadas sobre su influencia en el microclima térmico urbano, lo cual se adecuó a las decisiones anteriormente expuestas sobre los parámetros clave a considerar y los rangos de valores acordados para su caracterización.

Con vistas a precisar la forma de realizar el monitoreo del microclima urbano en los tipos morfológicos identificados, se revisaron publicaciones de investigaciones realizadas sobre el tema desde el año 2000 en América Latina y España, buscando condiciones tecnológicas y de recursos similares a las actuales en la presente investigación. Se indagó sobre las diferentes formas de hacer el monitoreo a escala urbana, los equipos a emplear y sus características, las condiciones requeridas para

el registro de los datos, los períodos de medición y cualquier otra información de interés para esta investigación.

Los *data loggers* empleados tienen una precisión de $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ entre 0 y 70°C con una resolución de 0.04°C para la temperatura, y $\pm 2.5\%$ entre 10% y 90% para la humedad relativa, con un máximo de $\pm 3.5\%$, y $\pm 5\%$ con valores superiores al 90% . El termómetro de globo registra temperaturas entre -30°C y $+75^{\circ}\text{C}$. El anemómetro registra velocidades de viento entre 0 y 76 m/s con direcciones entre 0 y 355 grados, con una precisión de ± 1.1 m/s, y una resolución 0.5 m/s y 1 grado. Aunque los fabricantes validan la calibración profesional de todos los sensores adquiridos, esto fue verificado mediante la comparación de las mediciones registradas por los sensores durante una semana en las mismas condiciones.

De acuerdo con la disponibilidad de recursos materiales (sensores) y humanos (estudiantes vinculados), se seleccionaron seis casos de estudio dentro de los tipos morfológicos identificados en la ciudad para una campaña preliminar de monitoreo como prueba piloto exploratoria, que permitiera tener una primera idea de los resultados y ajustar detalles. En cada uno de ellos se identificó un sitio que en un diagnóstico integral preliminar ofreciera potencialidades de transformación con vistas a proponer acciones encaminadas a contrarrestar el efecto del calentamiento global, lo cual se realizaría en etapas posteriores de la investigación. Siguiendo los criterios establecidos se diseñaron los recorridos a realizar en cada sitio. La definición de los puntos a monitorear en el recorrido responde a la intención de comparar la influencia de las diferentes variables y parámetros objeto de estudio.

El monitoreo se realizó de forma simultánea en los seis sitios durante los días 3, 9, 16 y 23 de mayo de 2023, en los horarios de $9.00 - 11.00$, $12.00 - 14.00$ y $18.00 - 20.00$. Los registros se tomaron en la vía, a más de 2 m de distancia de las edificaciones, con los sensores protegidos de la radiación solar directa. En esta ocasión los puntos de referencia que se

mantuvieron fijos de forma permanente durante todo el período, no siempre pudieron ubicarse en cabinas protectoras y bajo la sombra de árboles, por razones de seguridad. En ocasiones se localizaron en balcones o terrazas de edificaciones existentes. Todos los datos, tanto los registros de los sensores como la caracterización del lugar como resultado de la observación directa quedaron reflejados en una planilla de observación.

3. Resultados

Tipos morfológicos. Clasificación.

Las clasificaciones precedentes desarrolladas en Cuba no se ajustaban exactamente a los objetivos de la presente investigación. Por tanto, finalmente se definieron como parámetros clave para la identificación, clasificación y evaluación de los tipos morfológicos desde el punto de vista de su influencia en la isla de calor urbana: la compacidad, la altura media de las edificaciones, la diferencia de alturas, la distancia entre fachadas, la presencia o no de jardín, la dimensión del lado menor de las manzanas, el coeficiente de ocupación del suelo y la tipología arquitectónica.

Los parámetros anteriores se ajustan a las zonas urbanas tradicionales consolidadas, con estructura en manzanas lotificadas, pero para las urbanizaciones abiertas compuestas por proyectos de edificios repetitivos ubicados en diferentes posiciones fue necesario realizar algunas adecuaciones. La altura de las edificaciones (H) y su variación (ΔH) continuó siendo un parámetro clave a considerar, así como el coeficiente de ocupación del suelo (COS) y la distancia entre fachadas, aun cuando en este caso no se refería a edificios a ambos lados de una vía, sino enfrentados en cualquier condición. Sin embargo, parámetros como la dimensión de manzana, la presencia o no de jardín o la tipología arquitectónica no se ajustaban a este tipo morfológico urbano, por lo que se hicieron ajustes.

Se identificaron 27 tipos morfológicos en La Habana (Figura 1). Estos incluyen 25 tipos lotificados, uno de urbani-

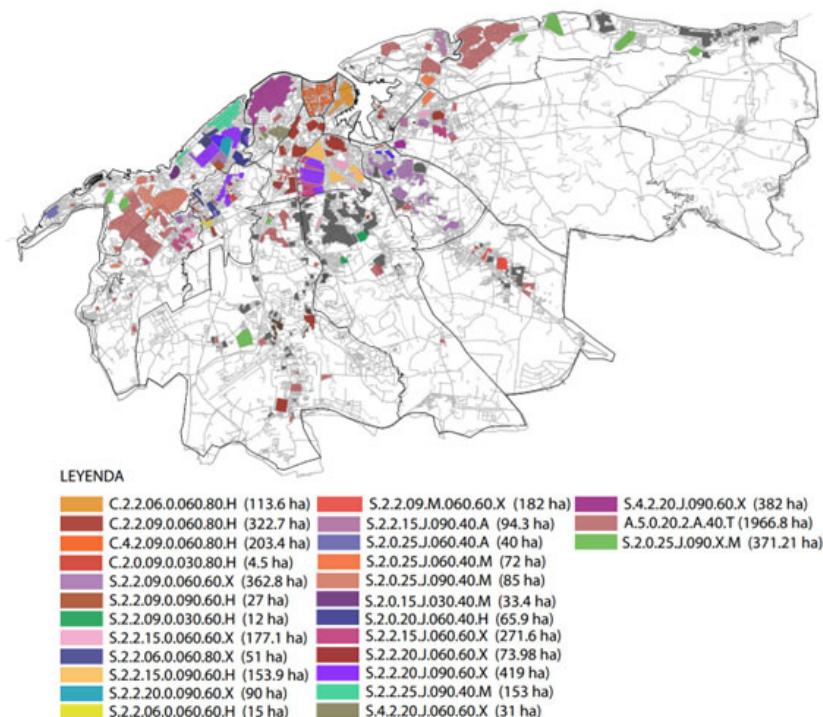


Fig. 1. Tipos morfológicos identificados en La Habana. Fuente: Elaboración propia.

zación abierta correspondiente a los desarrollos periféricos a partir de los años 60's siguiendo el modelo urbano moderno, que tiene sus propias reglas de clasificación y caracterización, y otro (S.2.o.25.J.09o.X.M) correspondiente a urbanizaciones en formación o no consolidadas, cuyo proceso se detuvo en 1959. En algunos casos quedaron abandonadas, y en otros fueron completadas con viviendas autoconstruidas o con edificios típicos en forma de bloques prismáticos. Por lo general, están conformadas a partir de grandes manzanas alargadas con trazados curvos.

Evaluación cualitativa

Los criterios de evaluación asumidos en esta etapa constituyen hipótesis sobre el comportamiento potencial probable esperado de una determinada condición con respecto a su influencia en el ambiente térmico urbano, cuestión a verificar posteriormente mediante el monitoreo y la simulación automatizada. Como se trata de una evaluación cualitativa, para facilitar la visualización de los resultados en un lenguaje gráfico, se estableció una escala de tres valores identificados con colores (Figura 2).

- Favorable – Indica que se está asumiendo que esas características o condiciones favorezcan una reducción de la temperatura exterior, por tanto, un ambiente térmico menos caluroso. Se identifica con el color azul, clasificado como frío.
- Desfavorable – Indica que se está asumiendo que esas características o condiciones favorezcan un aumento de la temperatura exterior, por tanto, un ambiente térmico más caluroso. Se identifica con el color amarillo, de la gama de los cálidos.
- Aceptable – Indica una condición intermedia entre las dos anteriores, es decir, condiciones que no necesariamente deben influir en un aumento o reducción de la temperatura exterior y se identifica con el color verde.

Monitoreo

Para los estudios de microclima urbano suelen hacerse recorridos, en vehículos (Schiller *et al.*, 2001; Gómez Concepción *et al.*, 2021) o peatonales a través de los cuales se registran los datos de las variables meteorológicas. También pueden establecerse puntos en mallas separados entre 250 y 500 m (Álvarez López, 2004; Castro *et al.*, 2015), o se emplean otras tecnologías con el uso de imágenes satelitales (Smith Guerra *et al.*, 2016; Chiarito *et al.*, 2015) o drones (Roco Castillo, 2022).

Es común realizar estos trabajos de monitoreo no solo para evaluar la influencia de la morfología urbana en el microclima, sino también la sensación térmica perseguida por los peatones (Urrutia del Campo *et al.*, 2020; Zapata Padilla *et al.*, 2017) o las condiciones del equipamiento urbano (Molar-Orozco, 2015; Martínez Osorio *et al.*, 2016). Las investigaciones incluyen la información cuantitativa y cualitativa (Castillo Valdivia, 2020; Guzmán Bravo *et al.*, 2014), y pueden combinarse con procesos de cálculo (Cordero Ordóñez, 2014) y simulación (Villanueva-Solis *et al.*, 2013).

A partir de la revisión bibliográfica realizada, se establecieron los criterios para el monitoreo del microclima urbano en los tipos morfológicos seleccionados como objeto de estudio: hacer las mediciones sobre la base de recorridos previamente diseñados, de aproximadamente 1 km de longitud durante el cual se realizarán paradas en 10 puntos seleccionados para realizar mediciones durante 10 min (Figura 3). De esta forma, cada recorrido duraría aproximadamente 2 h caminando, en un área cercana a las 16 ha. Estos se realizarían de forma simultánea, haciendo coincidir los momentos de medición con los valores tri-horarios registrados en la estación meteorológica de Casablanca (7:00 a.m., 10:00 a.m., 1:00 p.m., 4:00 p.m., 7:00 p.m., 10:00 p.m., 1:00 a.m. y 4:00 a.m.), y se mantendría un punto de referencia con medición permanente en cada zona. Toda la información recopilada se insertó a una planilla de registro previamente diseñada y se procesó en Excel.



Fig. 2. Código para la identificación de los tipos morfológicos y criterios de evaluación cualitativa. Fuente: Elaboración propia.

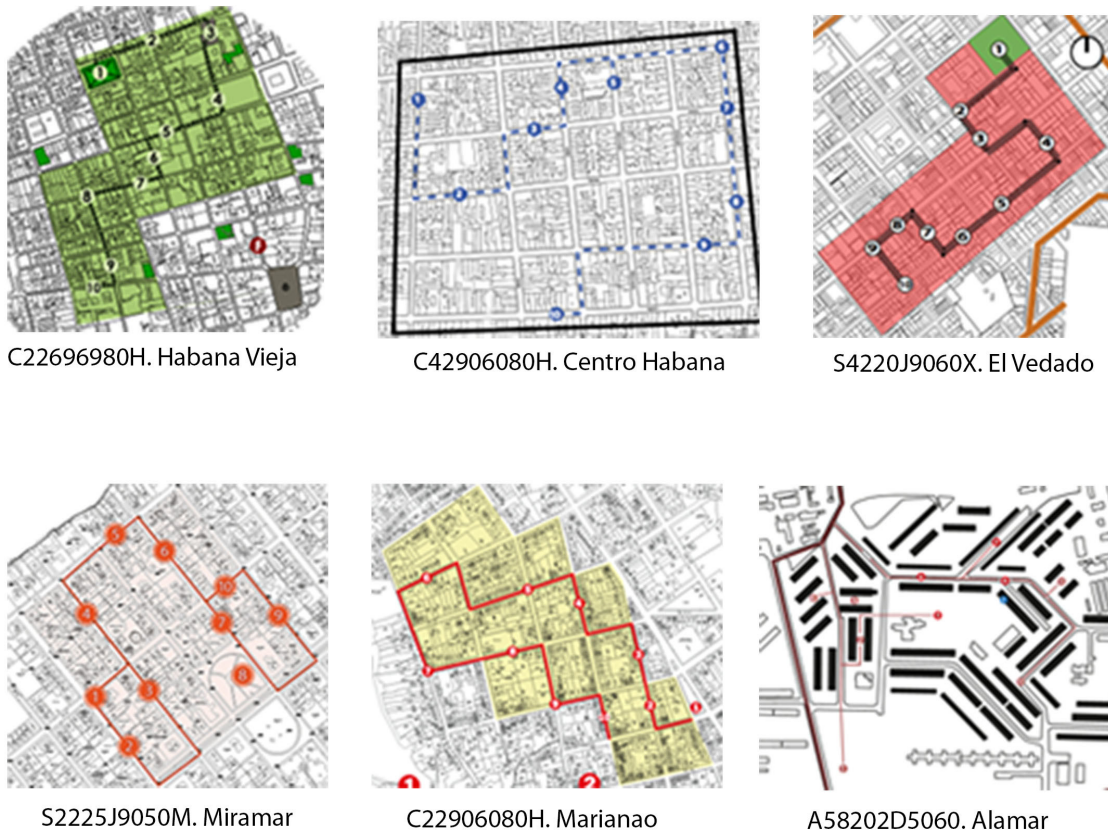


Fig. 3. Recorridos establecidos para el monitoreo en los sitios objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión Tipos morfológicos

El promedio de altura de los edificios en la ciudad es muy bajo, de apenas dos plantas, con una oscilación de dos pisos. Sin embargo, el tipo que ocupa la mayor área urbana (casi 2 000 ha) es el de la urbanización abierta periférica conformada por conjuntos de edificios típicos de 4 o 5 plantas, con muy baja ocupación del suelo.

En la ciudad tradicional lotificada predomina la morfología semi-compacta, en la cual los edificios se encuentran separados por pasillos laterales o perimetrales. Particularmente, el tipo que más abunda (419 ha) presenta anchos de vía entre fachada de 20 m, incluyendo espacio de jardín, manzanas con un lado menor de aproximadamente 90 m, un coeficiente medio de ocupación del suelo de cercano a 0.60, y tipología arquitectónica mixta como consecuencia del desarrollo en el tiempo (S.2.2.20.J.090.60.X).

Le sigue en orden de importancia, por el área que ocupa (382 ha), un modelo muy similar según ancho de vía, dimensiones de manzana y ocupación del suelo (S.2.2.20.J.090.60.X), pero que varía en cuanto a la altura promedio de los edificios, que se ha estimado en 4 pisos. Su principal manifestación es El Vedado, donde cobró auge la inserción de edificios de apartamento durante la década de los años cincuenta del siglo XX.

El tercer lugar, por su extensión en la ciudad (363 ha), corresponde a otro tipo morfológico semicompacto

(S.2.2.09.o.060.60.X) con un coeficiente medio de ocupación del suelo (0.60), pero con un ancho de vía de aproximadamente 9 m, que no presenta jardín, y manzanas de menores dimensiones (aproximadamente 60 m). En el siguiente tipo semicompacto, que ocupa 272 ha (S.2.2.15.J.060.60.X) aparece nuevamente el jardín, con anchos de vía de 15 m, pero se mantienen las manzanas de 60 m de lado, el COS de 0.60 y la tipología arquitectónica mixta.

Las zonas urbanas compactas con presencia de medianería, ausencia de jardín y elevado COS (aproximadamente 0.80) ocupan un total de 644 ha en la ciudad. En ellas predomina un tipo (C.2.2.09.o.060.80.H) con ancho de vía de 9 m y dos pisos promedio de altura (323 ha), seguido por las 203 ha que ocupa Centro Habana (C.4.2.09.o.060.80.H), que se diferencia por una mayor altura promedio de los edificios (estimada en 4 pisos), y las 114 ha correspondientes a La Habana Vieja, con calles más estrechas, de aproximadamente 6 m.

Microclima urbano

Resulta difícil una comparación general del desempeño de los diferentes tipos morfológicos monitoreados. Los valores mínimos registrados resultan bastante similares, con una diferencia de 1.6 °C. El valor mínimo se presenta en la urbanización abierta de Alamar, seguido por el tipo compacto Habana Vieja. Sin embargo, la diferencia entre las temperaturas máximas medidas asciende a 5.0 °C, encontrándose el mayor valor en El Vedado y el menor en La Habana Vieja. El promedio de temperaturas tampoco

difiere tanto entre los tipos estudiados (2.1 °C), siendo el inferior de 29.24 °C, también en La Habana Vieja, y el más alto (35 °C) en El Vedado. La moda, que es el valor más frecuente en cada tipo, es mínima en Alamar con 27.88 °C y máxima en El Vedado, con 31.31 °C.

Según estos resultados preliminares, todo parece indicar que La Habana Vieja, como urbanización compacta, no es tan calurosa como se esperaba, ni El Vedado, como modelo de ciudad jardín, es tan fresco como se pensaba. Por otro lado, Alamar, como urbanización abierta que recibe mayor cantidad de radiación solar, tampoco es tan cálida como podría suponerse. No obstante, estos resultados no pueden ser considerados como definitivos, sino preliminares y exploratorios.

Un análisis comparativo del microclima en los tipos morfológicos estudiados fue realizado a partir de los datos registraos en los puntos fijos de referencia, considerando la ubicación condicionada por la disponibilidad de un lugar seguro con habitantes de la zona dispuestos a colaborar protegiendo los sensores instalados, por lo que no fue posible contar con posiciones siempre protegidas del sol o de la radiación emitida por las propias edificaciones. Es por ello que fue necesario excluir los datos de Miramar, cuyo sensor de referencia quedó ubicado bajo una cubierta metálica cuya emisión radiante distorsiona los resultados. En la Figura 4 se muestran los valores de la temperatura monitoreada en los puntos de referencia con respecto a los valores tri-horarios registrados en la estación meteorológica de Casablanca.

La temperatura del aire en todas las zonas urbanas monitoreadas generalmente supera en más de 2 °C los valores de la estación meteorológica, excepto en el horario de la mañana, en que puede, incluso, llegar a ser ligeramente inferior, ya que la masa construida se ha enfriado durante la noche y la madrugada, desprendiendo el calor acumulado el día anterior.

Las temperaturas diurnas más altas se presentan en La Habana Vieja y Marianao, ambas zonas compactas con una altura promedio de los edificios de dos pisos. Sin embargo, en estos tipos urbanos se producen también temperaturas más bajas en el horario de la madrugada, lo cual indica, que, al contrario de lo esperado, el calor absorbido durante el día se libera con relativa rapidez.

Las temperaturas diurnas más bajas se registran en El Vedado, como era de esperar, debido a la abundante

sombra proporcionada por la vegetación, aunque durante la madrugada son casi iguales o ligeramente mayores que en La Habana Vieja y Marianao, lo cual puede ser resultado del calor emitido por la masa térmica del portal, orientado al noroeste, teniendo en cuenta que las mediciones se han realizado en el mes de mayo.

Las temperaturas exteriores en Centro Habana, más altas que en El Vedado durante el día, son las más elevadas que se presentan en la madrugada en todos los tipos morfológicos estudiados, con valores nocturnos que pueden llegar a ser de 28 °C o más, afectando el bienestar térmico de las personas durante el horario del descanso y el sueño, a la vez que contribuyen al aumento del consumo energético cuando se use climatización artificial. Al igual que La Habana Vieja y Marianao, Centro Habana presenta una morfología urbana compacta, pero la diferencia fundamental estriba en la mayor altura de las edificaciones (promedio de cuatro pisos). No obstante, el hecho de que las temperaturas diurnas no sean las más elevadas, pero sí las nocturnas, puede estar condicionado por la orientación Oeste del sitio donde se localiza el sensor de referencia, que recibe radiación solar directa durante la tarde.

De los cinco tipos morfológicos lotificados monitoreados, los tres compactos (Habana Vieja, Centro Habana y Marianao) habían sido evaluados integralmente como aceptables, aunque el efecto de los modificadores se había considerado negativo en Centro Habana, ya que a la ausencia de vegetación se sumaba la orientación casi coincidiendo con los ejes cardinales. A su vez, los dos tipos semi-compactos (El Vedado y Miramar) se consideraron satisfactorios, tanto en su morfología como en la influencia de los modificadores, pues a la presencia de vegetación se adiciona la orientación a 45 grados con respecto al norte.

En El Vedado se presentan las más bajas temperaturas diurnas, por lo cual su desempeño puede considerarse, de acuerdo con lo previsto en la evaluación cualitativa, como mejor que el de los tipos compactos carentes de vegetación. Por otro lado, la orientación más desfavorable de Centro Habana con respecto a los otros tipos compactos (La Habana Vieja y Marianao), puede ayudar a explicar las más elevadas temperaturas durante la noche y la madrugada como consecuencia de asoleamiento debido a la orientación de la trama urbana. Por tanto, es posible afirmar que hasta el momento

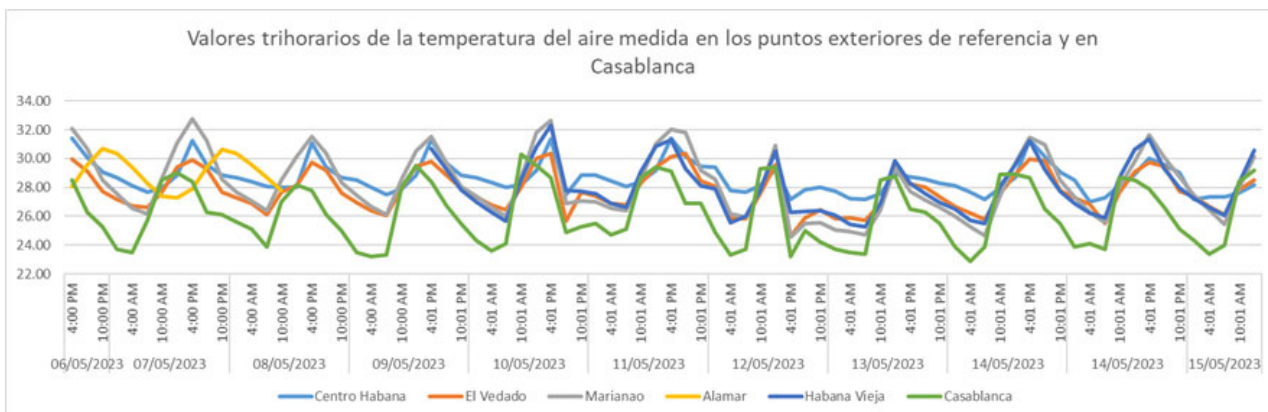


Fig. 4. Valores tri-horarios de la temperatura en los puntos de referencia y en la estación meteorológica de Casablanca.

los resultados del monitoreo confirman los criterios asumidos para la evaluación cualitativa precedente.

Una comparación particular podría hacerse entre La Habana Vieja y Marianao, que presentan una orientación similar (aproximadamente a 23 grados con respecto al norte) y también ambos tienen un COS, elevado, por tratarse de zonas urbanas compactas. Por tanto, es posible aprovechar todas estas similitudes, incluso en cuanto a la altura de las edificaciones a pesar de su diferencia tipológica, para evaluar la influencia del ancho de la vía en las temperaturas exteriores, pues las calles de Marianao (9 m) son más anchas que las de La Habana Vieja (6 m).

En el gráfico de la Figura 5, que recoge los datos de temperatura del aire registrados simultáneamente en los 10 puntos monitoreados en cada uno de los dos tipos morfológicos, puede apreciarse que los valores de las temperaturas medidas en La Habana Vieja (que aparecen en línea discontinua), son, de manera general, inferiores a los de Marianao, donde las vías son más anchas y, por tanto, más asoleadas.

El Vedado y Miramar también presentan la misma orientación de la trama vial, a 45 grados con los ejes N-S y E-O, pero Miramar tiene un ancho de vía de 25 m, mayor que el de El Vedado (20m) y también un coeficiente de ocupación del suelo de 0.40, menor que éste (0.60). En la Figura 6 se observa que, de manera general, los valores registrados en El Vedado son superiores, fundamentalmente, en horas del mediodía, lo cual puede estar determinado por una mayor presencia de vegetación en Miramar, a pesar de que las vías son más anchas, pero también el coeficiente de ocupación del suelo es menor.

Para evaluar la influencia en el microclima de los diferentes parámetros que caracterizan la morfología se tuvieron en cuenta los resultados de las mediciones realizadas en cada uno de los puntos de los tipos morfológicos estudiados, el momento en que estas se hicieron, las condiciones del tiempo y el uso, así como las características del lugar observadas, y las variables y parámetros objeto de estudio. Se realizaron análisis comparativos en puntos con condiciones

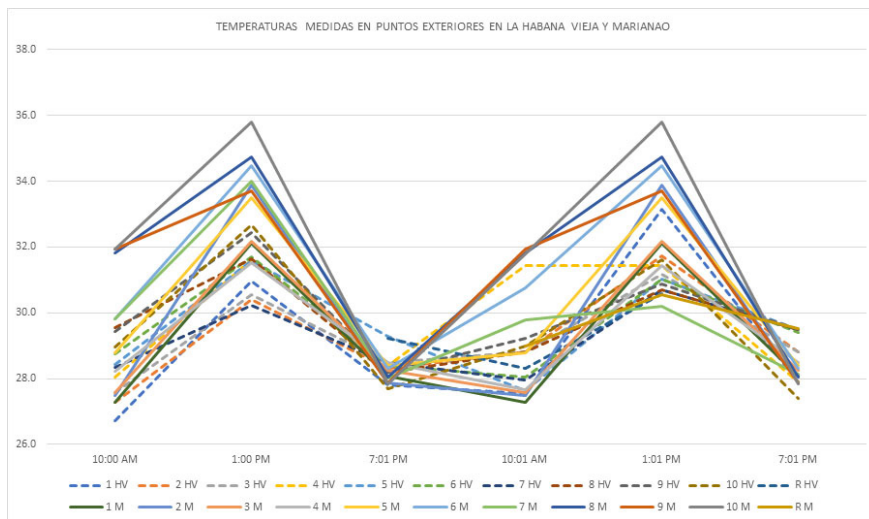


Fig. 5. Temperaturas del aire registradas en La Habana Vieja y en Marianao.

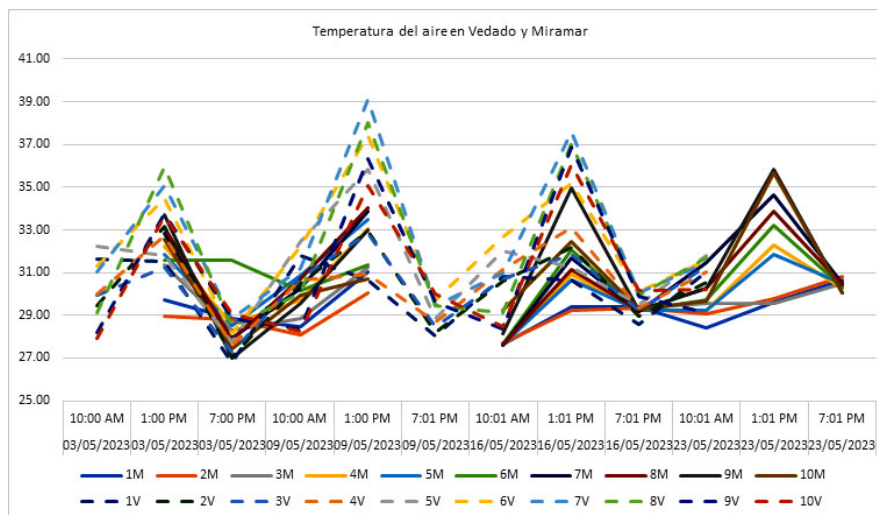


Fig. 6. Temperaturas del aire registradas en El Vedado y Miramar.

similares y diferencias esenciales con vistas a verificar la posible influencia de los diversos parámetros morfológicos en la temperatura exterior.

En La Habana Vieja, los valores de la temperatura del aire (T_a) medidos en los puntos 5 y 6, con diferente orientación son muy similares, e incluso, en el punto fijo tomado como referencia exterior (Figura 7). Ambos parámetros alcanzan valores máximos en el horario del mediodía. Lo mismo sucede la temperatura del aire en los puntos 9 y 10, también con diferente orientación (Figura 8), lo cual pudiera indicar que la orientación no influye de manera determinante en la temperatura del aire exterior en un contexto urbano como La Habana Vieja, donde como consecuencia de la sección de vía (ancho de la calle y altura de los edificios) el ángulo de visión del cielo es reducido.

Aunque la ausencia de vegetación es generalizada en las zonas urbanas compactas como La Habana Vieja, se realizaron mediciones en la Plaza de la Catedral, con ausencia total de vegetación y en un parque con una cobertura de árboles y césped de aproximadamente el 50 %.

En el gráfico de la Figura 9 es posible notar que, aunque al mediodía, cuando el sol incide de forma más perpendicular, la temperatura del aire (T_a) es ligeramente superior en la plaza arbolada, ésta se mantiene más alta durante la noche en la Plaza de la Catedral, como consecuencia del calor absorbido y emitido por la masa construida no protegida del sol.

En los puntos 1 y 4 de Centro Habana, con la misma orientación y altura de los edificios, pero diferente ancho de vía (6 m, y 9 m, respectivamente) (Figura 10), la temperatura es más alta que en el punto de referencia, pero es aún mayor en la vía más ancha y, por tanto, con mayor incidencia de la radiación solar.

Aunque Centro Habana, como morfología urbana compacta, por lo general carece de vegetación, se comparó la temperatura del aire en dos calles de igual orientación y sección, en una de las cuales los vecinos han incorporado plantas en los balcones (P3 y P2, respectivamente). Es posible comprobar que la temperatura permanece más baja en la calle con presencia de vegetación (Figura 11).

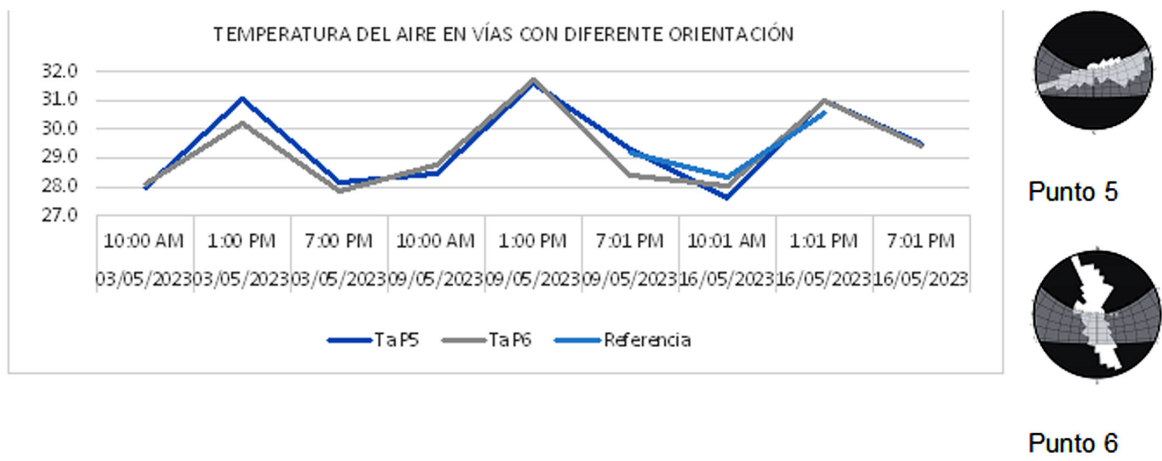


Fig. 7. Temperatura del aire medida en los puntos 5 y 6 ubicados en vías con diferente orientación, y en la referencia externa. Habana Vieja.

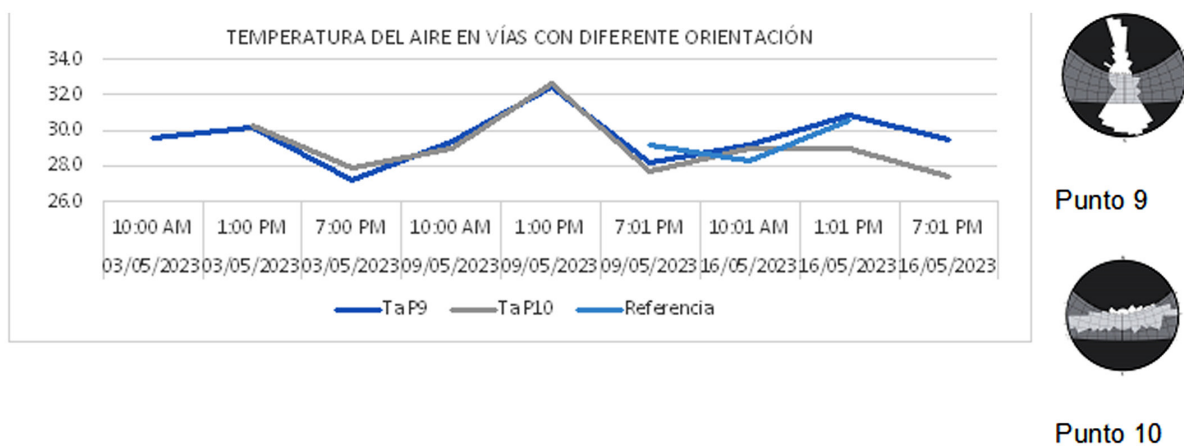


Fig. 8. Temperatura del aire medida en los puntos 9 y 10 ubicados en vías con diferente orientación, y en la referencia externa. Habana Vieja.

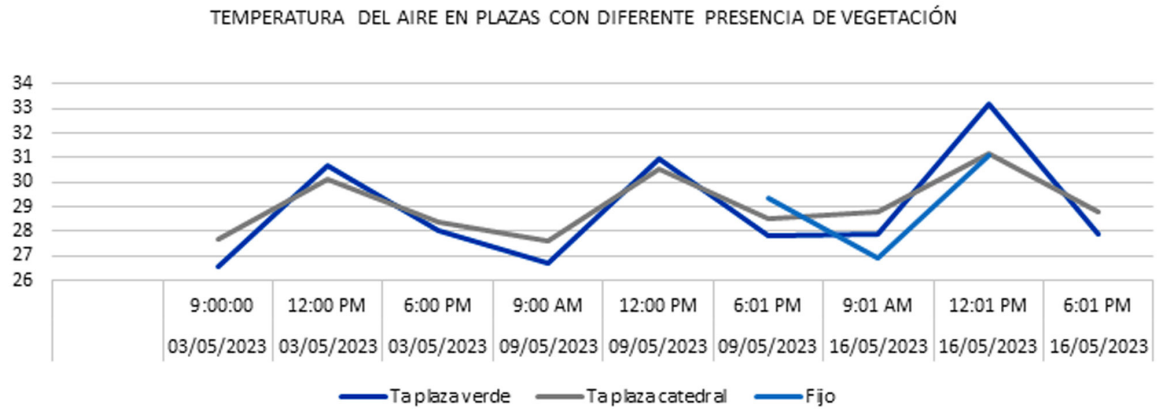


Fig. 9. Temperatura del aire en plazas con y sin presencia de vegetación. Habana Vieja.

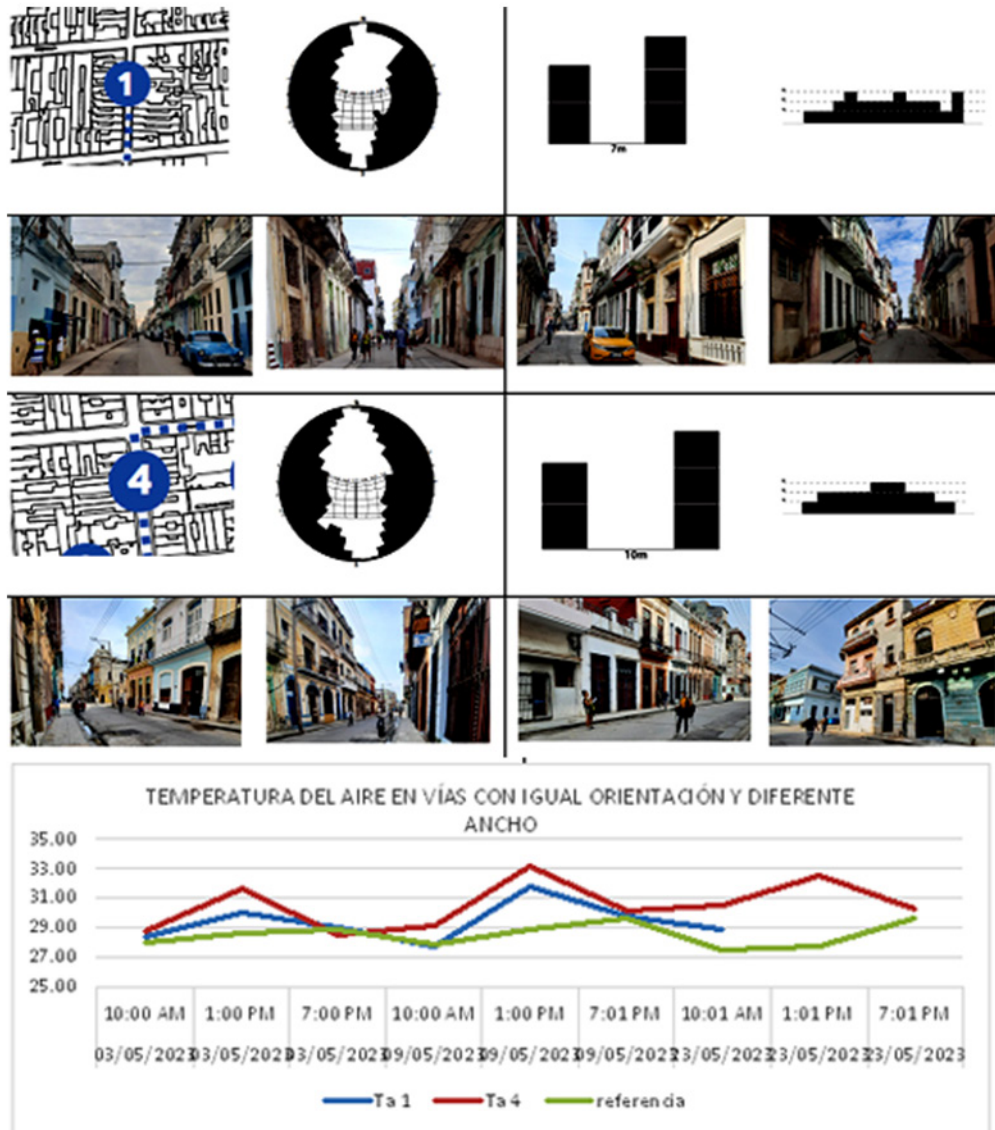


Fig. 10. Temperatura del aire en vías con la misma orientación y diferente ancho. Centro Habana.

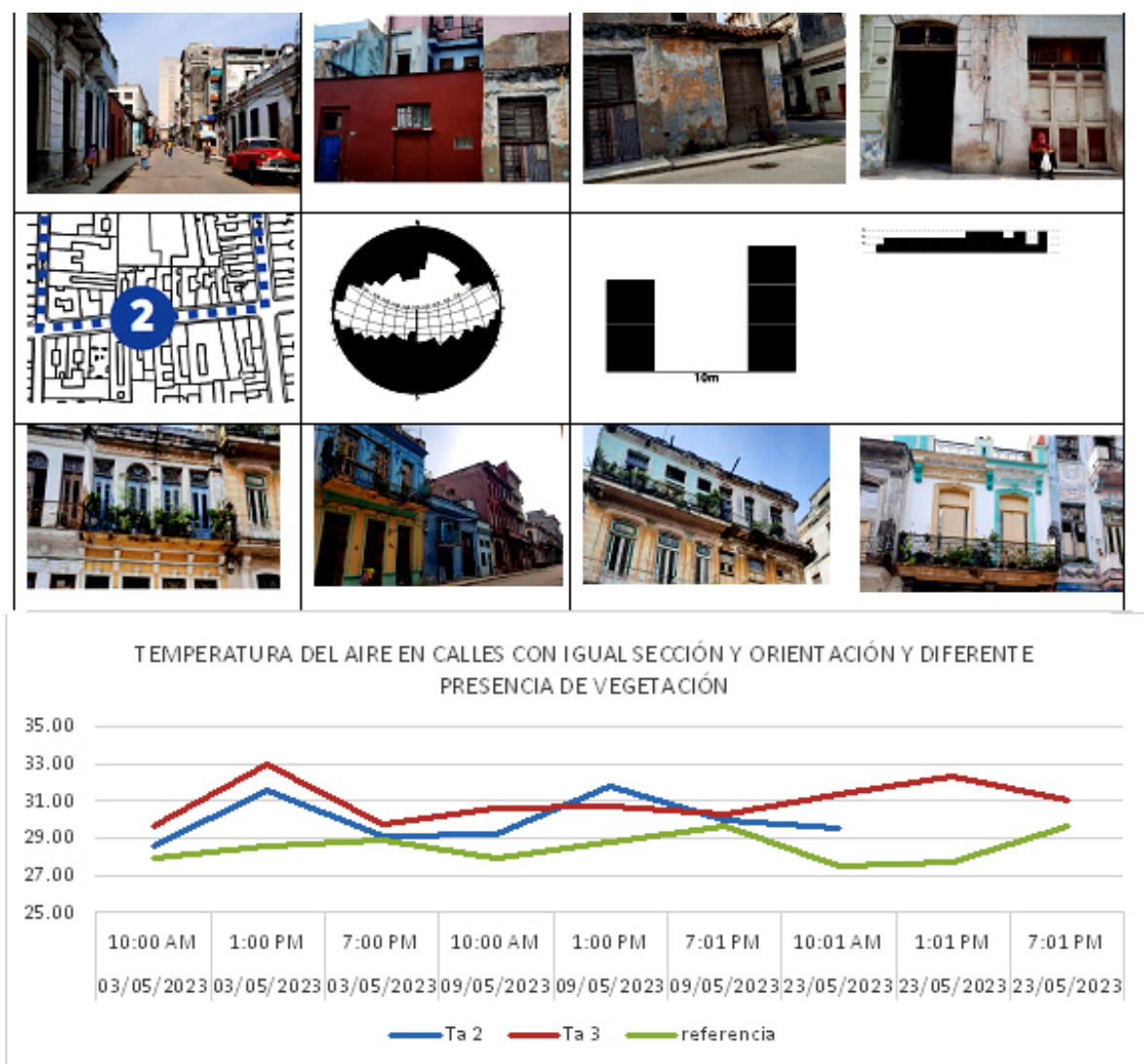


Fig. 11. Temperatura del aire en vías con igual sección y orientación, pero diferente presencia de vegetación (P3 y P9). Centro Habana.

En Marianao, las temperaturas más bajas en todo momento ocurren en el espacio verde con árboles que arrojan sombra, le siguen las vías con orientación cercana al eje Norte-Sur (O₁), que reciben la radiación solar, fundamentalmente en el horario del mediodía, y los mayores valores de temperatura se registran en las vías con orientación cercana al eje Este-Oeste (O₂), que son las que más radiación solar reciben durante el día (Figura 12).

Las mayores temperaturas en El Vedado, superiores a los 37 °C al mediodía se presentan en los puntos 6, 7 y 8, con menor presencia de vegetación (Figura 13). Al mediodía la diferencia entre las temperaturas mínima y máxima registradas puede alcanzar hasta 9 °C. En el Punto 1, ubicado en un parque arbolado se producen las temperaturas más bajas, lo cual permite confirmar el efecto positivo de la vegetación. Los mayores valores de temperatura se alcanzan en los Puntos

8 y 9, ubicados en vías que carecen de parterre o de árboles en él, como el Punto 7.

Para comprobar la influencia del ancho de la vía en la temperatura del aire exterior, se escogieron los puntos 6 y 8, ubicados en vías con igual orientación y cobertura verde, solo que el punto 8 está en la calle 17, de mayor ancho. Como se observa en la Figura 14, en la calle más ancha la temperatura alcanza valores mayores, con una diferencia de hasta 3 °C. También se compararon las temperaturas del aire en los puntos 6 y 7, con similar sección de vía y cobertura verde (solo cobertura en parterre y jardín, pero ausencia de arbolado), ubicados en vías con orientación perpendicular una con respecto a la otra (Figura 15). La temperatura al mediodía es superior en la vía con orientación en el eje NO-SE (Hasta 2 °C y más), pero suele ser inferior en la mañana e igual en la noche.

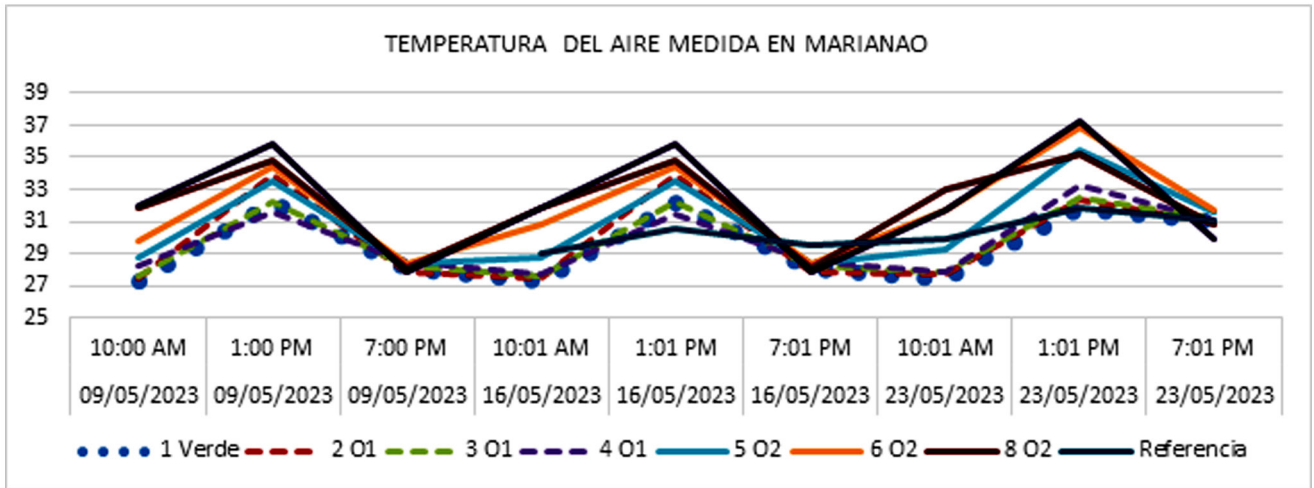


Fig. 12. Temperatura del aire en vías diferente orientación (O1 y O2) y presencia de vegetación (Verde). Marianao.

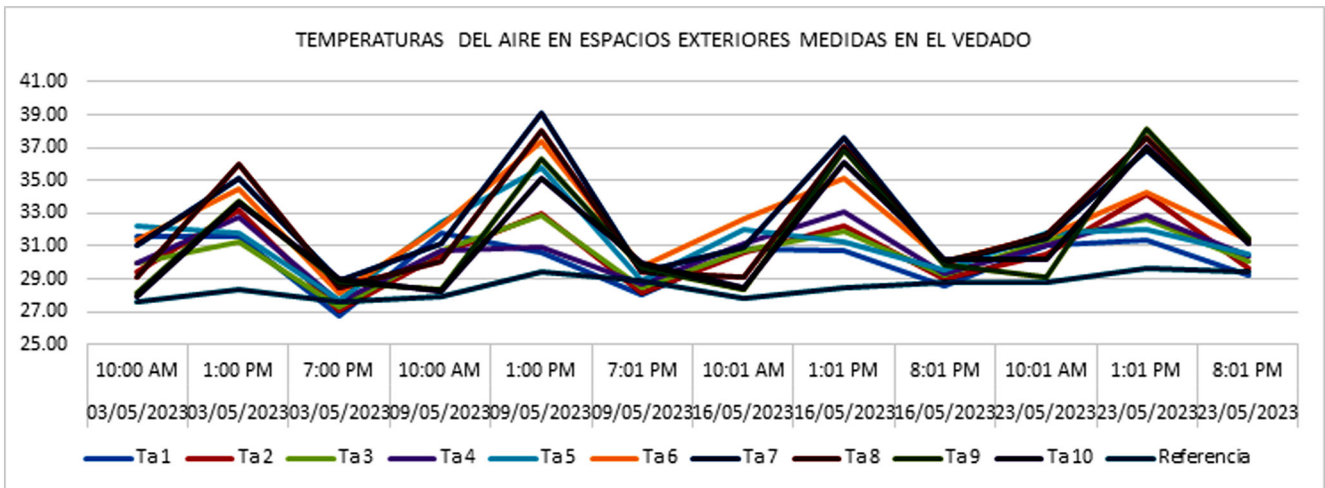


Fig. 13. Temperatura del aire en los 10 puntos monitoreados en El Vedado.

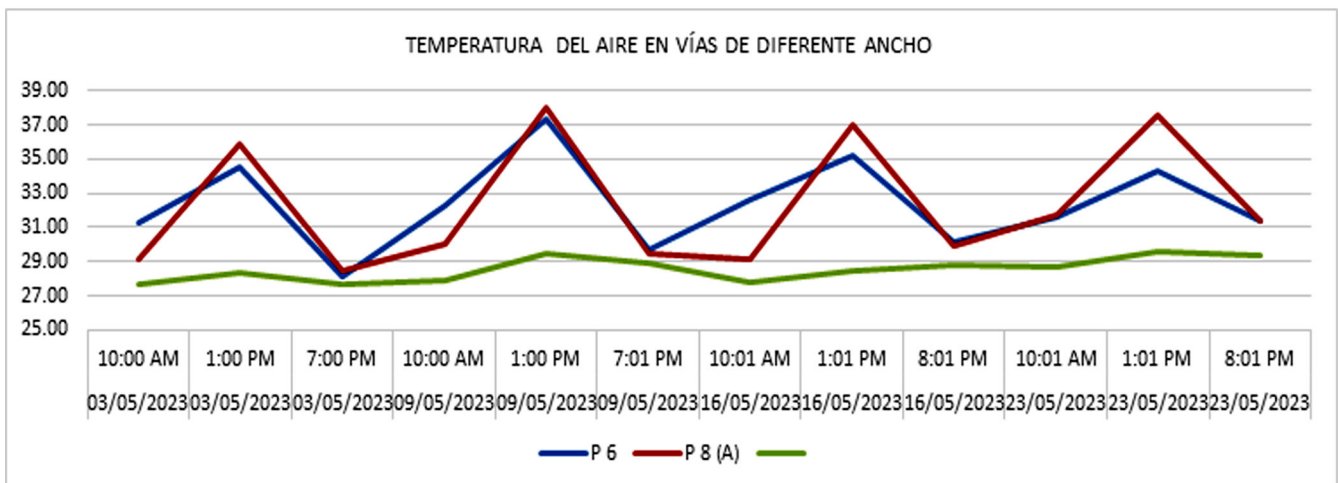


Fig. 14. Temperatura del aire en vías con la misma orientación y similar cobertura verde, pero diferente ancho. El Vedado.

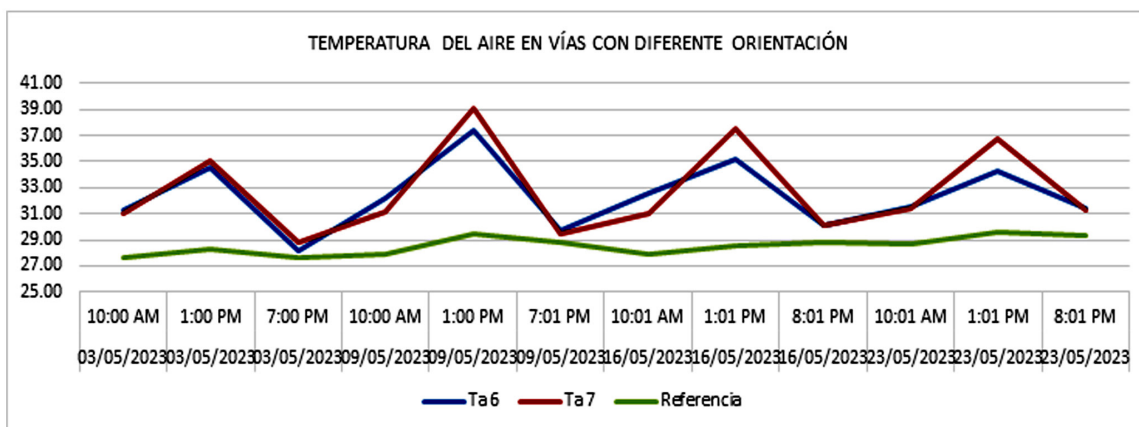


Fig. 15. Temperatura del aire en vías con similar cobertura verde y diferente orientación. El Vedado.

Como era de esperar, las temperaturas más elevadas en Alamar corresponden a la plaza, como espacio abierto, sin vegetación y muy expuesto a la radiación solar, y las menores se registran en el conjunto de edificios tipo FORSA, que se encuentran mucho más concentrados y cercanos que el resto de los bloques repetitivos, con lo cual el acceso al sol y el ángulo de visión del cielo es menor (Figura 16).

5. Conclusiones

Atendiendo a su influencia en el microclima urbano se han identificado 27 tipos morfológicos en La Habana, de ellos, 25 lotificados, uno en formación que no llegó a consolidarse a partir de 1959 y otro de urbanización abierta periférica desarrollado a partir de los años 60, que es el que ocupa una mayor área de la ciudad.

El promedio de altura es muy bajo, de dos pisos de altura, excepto en los nuevos desarrollos periféricos.

En la ciudad tradicional lotificada predomina la morfología semi-compacta, siendo mayoritaria la distancia de 20 m entre fachadas, con jardín y manzanas de 90 m de lado mínimo

y coeficiente de ocupación del suelo de 0.60. Las zonas compactas, con Coeficiente de Ocupación del Suelo de 0.80 ocupan 644 ha, predominando un ancho de vía de 9 m.

La temperatura medida en los tipos morfológicos monitoreados se mantiene entre 2 y 4 grados por encima de la estación meteorológica, excepto en horas de la mañana, comprobándose el efecto de la isla de calor urbana. Los resultados experimentales corroboran los criterios asumidos en la evaluación cualitativa preliminar de los tipos.

Se comprueba la influencia en el microclima urbano de parámetros morfológicos como el ancho de la vía, que es directamente proporcional a la temperatura, y modificadores como la presencia de vegetación, cuya relación con la temperatura es inversa.

La influencia de la orientación se hace más clara en las urbanizaciones semi-compactas, resultando más baja la temperatura en las calles con orientación de su eje cercano a la dirección N-S. Sin embargo, esto es menos evidente en las zonas compactas.

Futuras etapas de la investigación permitirán llegar a resultados más seguros con respecto a la influencia específica en el microclima urbano de cada parámetro morfológico evaluado.

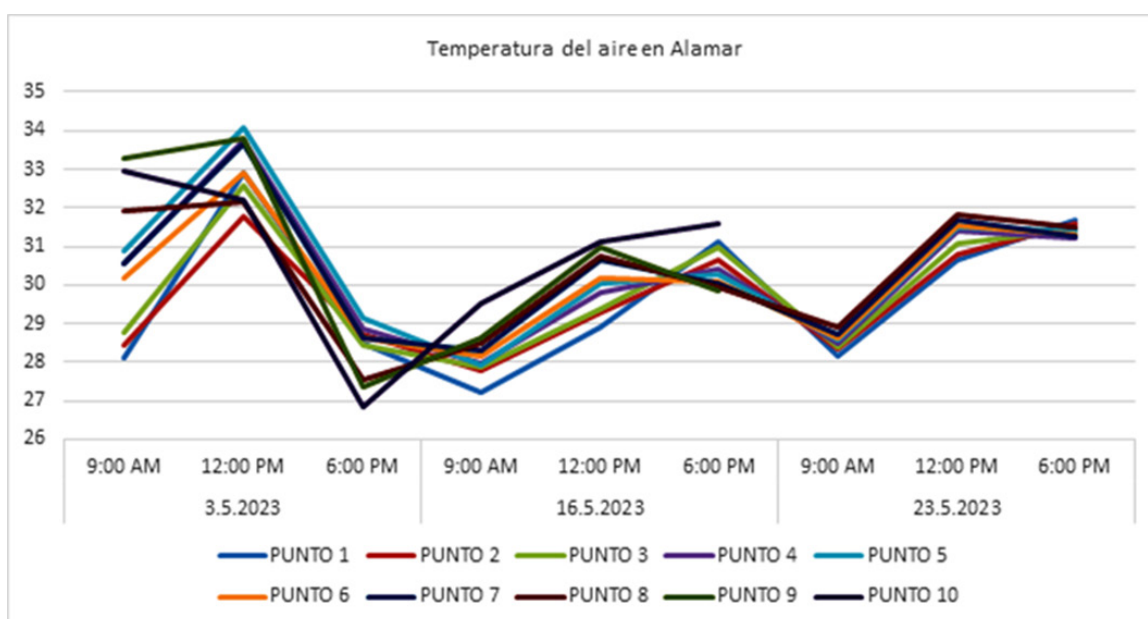


Fig. 16. Temperatura del aire en Alamar.

6. Referencias bibliográficas

- Alfonso, A., G. Díaz y De la Peña, A.M. (2009). *La ciudad compacta: Arquitectura y Microclima* (3.ª ed.). Facultad de arquitectura, Cujae.
- Álvarez López, A. (2004). Cambio climático y microclimas urbanos en ciudades del centro de Cuba. Reflexiones para el planeamiento a través de SIG. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 8(1), 111-116. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/81614>
- Castillo Valdivia, I. A. (2020). Clima urbano de espacios públicos en Peñalolén: Confort térmico exterior como un caso de injusticia climática. Memoria para optar al título profesional de Geógrafo, Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/175847>
- Castro Conrado, Y., Fernández Figueroa, E. y Álvarez López, A. (2015). Influencia de la forma urbana en el microclima térmico de Sagua la Grande. *Arquitectura y Urbanismo*, 36 (1), 25-37.
- Chiarito, G. y E. Chiarito (2015). Evaluación de temperaturas urbanas de acuerdo al uso del suelo: Rosario. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/142516>
- Cordero Ordóñez, X. (2014). Microclima y confort térmico urbano. Análisis sobre la influencia de la morfología del cañón urbano caso de estudio en los barrios El Raval y Gracia, Barcelona. Máster en Arquitectura, Energía y Medio Ambiente, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/23637?locale-attribute=es>
- Regulaciones Urbanísticas. Ciudad de La Habana. El Vedado. Municipio Plaza de la Revolución.* (2007). Ediciones Boloña: Ediciones Unión.
- Regulaciones Urbanísticas. Ciudad de La Habana. La Habana Vieja. Centro Histórico.* (2009). Ediciones Boloña.
- Fernández Figueroa, E. (2015). *Utopía y Realidad. La rehabilitación de las ciudades cubanas.* Editorial Félix Varela.
- González Couret, D. (2011). Uso del suelo y ambiente interior. *Arquitectura y Urbanismo*, XXXII (2), 9-15.
- Gelabert Abreu, D (2014). *Vivienda progresiva como solución alternativa para la ciudad de La Habana.* Universidad Internacional de Andalucía: Sevilla.
- Gómez Concepción H., I. Rojas Márquez y J. I. Perén Montero (2021). Una aproximación a los efectos del diseño urbano en el microclima y calidad de espacios urbanos de una ciudad cálida-húmeda. Panamá. *SusBCity*, 3 (1), 31-38. enero – diciembre <https://revistas.up.ac.pa/index.php/SusBCity/article/view/2009>
- González Couret, D. y O. Sánchez Martínez. (2016). Towards a more resilient urban morphology in Havana. PLEA 2016: 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture. University of Pomona, Los Ángeles.
- González Couret, D.; N. Collado Baldoquin, G. A de la Paz Pérez y L. A. Rueda Guzmán. (2023). Urban variables for adaptation to global warming in a hot-humid climate. Cuban cities as case study. *Urban Climate* 51, 101633. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101633>
- Guzmán Bravo, F, y et al. J. M. Ochoa de la Torre (2014). Confort térmico en los espacios públicos urbanos. Clima cálido y frío semi-seco. Confort térmico en los espacios públicos urbanos. Clima cálido y frío semi-seco. *Revista Hábitat Sustentable*, 4(2), 52-63. <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/450>
- Martínez Osorio, P., J. Gómez de Faria y P. da Cruz Landim. (2016). Ambiente, temperatura y uso de mobiliarios urbanos en espacios de convivencia abiertos. Conference paper. <https://doi.org/10.5151/engpro-conaerg2016-7032>
- Molar-Orozco, M. N. (2015). Análisis térmico de superficies horizontales en espacios públicos. Plaza Manuel Acuña y de Armas en Saltillo, México. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 18, 89-101. <https://www.redalyc.org/journal/4779/477947306006/html/>
- Roco Castillo, F. J (2022). Temperatura superficial y tipologías de diseño urbano-residencial, relación a microescala climática, caso de la Comuna de Renca, como base para lineamientos de diseño urbano sensible al clima. Memoria para optar al título de Geógrafo, Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/189813>
- Sánchez Martínez, O. Usos activos y pasivos del sol y el viento en la vivienda urbana en La Habana. Tesis en opción al grado de Máster en Vivienda Social, CUJAE: La Habana, 2015.
- Schiller, S., J. M. Evans y L. Katzschner (2001). Isla de calor, microclima urbano y variables de diseño. Estudios en Buenos Aires y Rio Gallegos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 5, 2001. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/79672>
- Smith Guerra, P. y C. Henríquez Ruíz (2016). Estudio del confort térmico y la calidad climática en el espacio público. Estudio de caso en la ciudad de Chillán, Chile. X Congreso Internacional AEC: Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio. DOI: <http://dx.doi.org/10.14198/XCongresoAECAlicante2016-59>
- Urrutia del Campo. N. y J. Neila González (2020). Bioclimática, mediciones ambientales y uso de los espacios urbanos: Evaluación comparativa en la Plaza de Chamberí, Madrid. *REVISTARQUIS*, 9(1), 1-26. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/revistarquis/article/view/40257>
- Villanueva-Solis, J., A. Ranfla y A. L. Quintanilla-Montoya (2013). Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido Extremo. *Información Tecnológica*, 24(1), 15-24 <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000100003>
- Zapata Padilla, N. J., M. A. Rosas Lusett y J. A. Espuna Mujica (2017). Confort humano en microclimas urbanos. Calle Miguel Hidalgo, Ciudad Valles, San Luis Potosí, México. *TLATEMOANI. Revista Académica de Investigación*, 8 (25), 119-131. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7277120>

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores:

Dania González Couret, conceptualización, curación de datos, investigación, metodología, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición.

Lázaro Yerandy Morales Camacho, curación de datos, investigación y metodología.

Natali Collado Baldoquin curación de datos, investigación, redacción-revisión.

Dayra Gelabert Abreu, investigación.

Luis Alberto Rueda Guzmán, investigación.

Recibido: 2 de septiembre de 2023

Aceptado: 20 de septiembre de 2023

ESTUDIOS PRELIMINARES DE LOS SUPLEMENTOS LÍQUIDOS DE NUTRIENTES PARA LA ALIMENTACIÓN DE CERDOS DURANTE LA ETAPA DE PRECEBA

Por Lic. Dayron Martín Prieto*, Lic. Félix Ojeda García**, Ing. Rafael Herrera González***, Dr. C. Javier Arece García****, Dr. C. Giraldo Jesús Martín Martín*****

Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas.

* <https://orcid.org/0000-0002-9073-6198>

E-mail: dayron.martin@ihatuey.cu

** <https://orcid.org/0000-0002-6770-4227>

E-mail: felix.ojeda@ihatuey.cu

*** <https://orcid.org/0000-0001-7902-2701>

E-mail: rafael.herrera@ihatuey.cu

**** <https://orcid.org/0009-0003-4329-0968>

E-mail: arece@ihatuey.cu

***** <https://orcid.org/0000-0002-8823-1641>

E-mail: giraldo.ihatuey@gmail.com

Resumen

En este trabajo, se estudió la biomasa foliar de las plantas forrajeras proteicas: *Morus alba* Linn, *Tithonia diversifolia* y *Leucaena leucocephala* Lam, como materia prima para extraer sus nutrientes y compuestos activos, lo cual permitió evaluar las preparaciones extraídas de la biomasa foliar como suplemento en la alimentación de cerdos de destete. Para ello la biomasa foliar se trocó y se procesó mediante la fermentación microbiana en fase líquida, suplementada con miel final de caña de azúcar, sal marina e IHPLUS-BF. Se utilizó una prensa hidráulica para separar la fracción fibrosa y la líquida, la cual se denominó: suplemento líquido de nutrientes para cerdos (SLNC). Esta fracción se mezcló diariamente con el concentrado convencional (CC) y se suministró a los cerdos una vez al día. Se evaluaron seis tratamientos: control y SLNC de morera, tithonia, leucaena, SLNC a partir de la mezcla de las tres plantas y SLNC a partir de la mezcla de morera y tithonia. Se estudiaron grupos de diez animales cada uno, con un diseño completamente aleatorizado. En esta investigación se demostró que los SLNC evitan la ocurrencia de paraqueratosis, mejoran la ganancia de peso y pueden sustituir el 10 % de la materia seca del CC en la alimentación de cerdos durante la etapa de preceba, para mejorar el crecimiento de estos animales, respecto al tratamiento control.

Palabras clave: biofermentados, IHPLUS-BF, plantas forrajeras proteicas, cerdos de destete.

PRELIMINARY STUDIES OF LIQUID NUTRIENT SUPPLEMENTS FOR FEEDING PIGS DURING THE PRE-WEANING PERIOD

Abstract

In this work, the leaf biomass of the protein forage plants: *Morus alba* Linn, *Tithonia diversifolia* and *Leucaena leucocephala* Lam, was studied as raw material to extract their nutrients and active compounds, which allowed the evaluation of preparations extracted from the leaf biomass as a supplement in the

feeding of weaning pigs. For this purpose, the leaf biomass was chopped and processed by liquid phase microbial fermentation, supplemented with final sugar cane honey, sea salt and IHPLUS-BF. A hydraulic press was used to separate the fibrous and the liquid fraction, which was named: liquid pig nutrient supplement (SLNC). This fraction was mixed daily with the conventional concentrate (CC) and fed to the pigs once a day. Six treatments were evaluated (control and SLNC from mulberry, tithonia, leucaena, SLNC from the mixture of the three plants and SLNC from the mixture of mulberry and tithonia). Groups of ten animals each were studied in a completely randomised design. In this research it was demonstrated that SLNCs prevent the occurrence of parakeratosis, improve weight gain and can replace 10 % of the dry matter of the CC in the feed of pigs during the pre-weaning stage, to improve the growth of these animals, with respect to the control treatment.

Keywords: biofermented, IHPLUS-BF, protein forage plants, weaning pigs.

I. Introducción

La crianza de animales monogástricos requiere de alimentos de calidad nutricional, suplementos vitamínicos/minerales y antibióticos, lo cual resulta una carga económica y medioambiental significativa en muchos países del mundo (Santamaría y Lübeck, 2020). En Cuba se importa gran parte de ellos, como la soya, el maíz, el trigo, entre otros, con un costo de más de 550 millones de dólares al año, que implica gastos cuantiosos de combustibles fósiles y la producción de gases con efecto invernadero en la logística de transportación.

Durante el año 2020, se dificultó el acceso a suplementos minerales y concentrado de inicio para cerdos en edades tempranas, lo que acarreó grandes afectaciones en la producción porcina, por la presencia de paraqueratosis, asociada con el desbalance entre el zinc y el calcio en el alimento.

La situación se complejizó debido a la crisis generada por la pandemia de la covid-19, que en un periodo reciente paralizó al planeta, frenando el funcionamiento del turismo y de algunas exportaciones, con la consecuente disminución de las divisas disponibles en Cuba. En el momento en que se desata la crisis en el país existían alrededor de 2 millones de cabezas de cerdo que demandaban fuentes sostenibles de alimento; animales que estaban distribuidos en granjas del sector estatal, campesinos en convenio y productores independientes (Piloto J. L., Comunicación personal, julio 2022).

La producción agrícola en el país tiene lugar en granjas estatales y con los campesinos en convenio, que producen parte del alimento en áreas de tierra que tienen en usufructo. Entre otros cultivos se siembra de yuca (*Manihot esculenta*), boniato (*Ipomoea batatas*), maíz (*Zea miz*) y soya (*Glycine max*) además de plantas forrajeras proteicas, como la morera (*Morus alba*), la tithonia (*Tithonia diversifolia*), la moringa (*Moringa oleifera*) y la leucaena (*Leucaena leucocephala*); este último grupo ha sido estudiado con el fin de utilizarlo para la alimentación porcina en Cuba, por la elevada producción de biomasa que registran durante todo el año (Contino, *et al.*, 2017; Milera, 2011; Ly, 2005).

En este tema, la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (EPPFIH), ha profundizado en el desarrollo de procedimientos de utilización de dichas plantas, por

ejemplo, se emplea la biomasa foliar fresca, en ensilaje y en harinas deshidratadas (Datos no publicados). A pesar de demostrarse que las plantas forrajeras proteicas son una fuente segura de proteínas producidas a nivel local, ha existido gran escepticismo en el sector porcino, relacionado con el elevado contenido de fibras en la biomasa foliar, compuestos antinutricionales y el manejo de las plantaciones (Ly, 2005).

La biomasa foliar de las plantas forrajeras proteicas es rica en nutrientes y compuestos activos, como las proteínas, carbohidratos, vitaminas, minerales, y los compuestos antivirales, antibacterianos e inmunomoduladores, respectivamente, que pueden cubrir parte de los requerimientos fisiológicos en la crianza de cerdos (Gutierrez *et al.* 2015; Thabti *et al.* 2020). En cerdos en la etapa de ceba se ha logrado sustituir entre el 10-15 % del alimento importado con la biomasa foliar en forma de ensilaje, manteniéndose buenos parámetros de ganancia de peso diaria (GPD) y conversión del alimento (Datos no publicados).

En los días posteriores a la etapa del destete, los animales demandan alimentos con porcentajes elevados de proteínas de fácil digestión y absorción, así como de vitaminas, minerales, entre otros (Blanco *et al.*, 2017; Degroote *et al.*, 2019). En este sentido, las llamadas biorrefinerías verdes integran tecnologías de procesamiento de la biomasa foliar mediante prensas que separan la fracción fibrosa o bagazo, de la fracción líquida (Santamaría Fernández *et al.*, 2017). La solución líquida de nutrientes para cerdos (SLNC) que se obtiene con estos procedimientos puede contener un conjunto de propiedades de gran utilidad para la alimentación de cerdos después del destete.

Así, los SLNC pueden constituir un alimento de alto valor para los cerdos por su contenido en carbohidratos (Almaguel *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2019) y proteínas (Santamaría y Lübeck, 2020; McSweeney y Mackie, 2012). También facilitan la digestión y eliminación de compuestos tóxicos (Missotten *et al.* 2015), por su función probiótica, como los *Lactobacillus* que mejoran el funcionamiento de la digestión y salud intestinal (Blanco *et al.* 2017; Ojeda *et al.*, 2016). Además incorpora compuestos antioxidantes (Degroote *et al.*, 2019), un pH ácido al sistema digestivo (Missotten *et al.*, 2015) y los ácidos orgánicos que se producen durante la fermentación microbiana pueden disminuir el consumo de alimento sin afectarse el crecimiento de los animales (Santamaría *et al.*, 2017). Su consumo incremen-

ta el contenido de vitaminas y minerales en la dieta (Santamaría *et al.*, 2017; Milera, 2011) e incorporan metabolitos secundarios que regulan el metabolismo de los animales y favorecen la producción de carnes más saludables.

Por ejemplo, *M. alba* contiene el alcaloide polihidroxiado 1-deoxynojiromicin que activa el catabolismo de las grasas, disminuyendo su contenido en el tejido animal (Liu *et al.*, 2019), entre otros no menos importantes. Por todo lo antes expuesto, el objetivo de este trabajo fue realizar la extracción de los SLNC a partir de tres plantas forrajeras proteicas: *M. alba* (morera), *T. diversifolia* (tithonia) y *L. leucocephala* (leucaena), realizar su evaluación proximal y estudiar su impacto en el peso vivo de los cerdos durante la etapa de preceba.

II. Materiales y métodos

Plantas forrajeras proteicas

La investigación se realizó entre los meses de julio y noviembre del año 2020, con características climáticas de verano. Se evaluaron tres plantas forrajeras proteicas: *M. alba*, *T. diversifolia* y *L. leucocephala*, cultivadas en los campos de la EEPFIH-Matanzas, Cuba, ubicada geográficamente en los 22° 48' 7" de latitud norte y los 81° 2' de longitud oeste, a 19,01 msnm. Las plantaciones tenían más de cinco años de establecidas, con una densidad de siembra de 20 000 plantas por hectárea, riego por goteo y fertilización con abono orgánico hecho a partir de excretas de carnero. El corte se realizó a los 70 días después de la última poda, a 10 cm del suelo para la tithonia y la morera, y a 1 m para la leucaena.

Fermentación y separación de los SLNC

La biomasa foliar de las plantas forrajeras proteicas se cortó manualmente con machetes, luego se troceó en un molino desintegrador (B616-MAQTRON-Vencedora). Se pesó la biomasa troceada, se determinó la materia seca y se depositó en tanques de plástico de 200 L. Se preparó el medio de cultivo (solución de extracción), con los siguientes componentes: miel final de caña de azúcar, sal marina, microorganismos eficientes (IHPLUS-BF) y agua potable (Tabla 1). La relación entre las cantidades de los componentes se mantuvo igual respecto a la materia seca de cada planta, de esta forma las relaciones fueron: MS/IHPLUS-BF (1), MS/Miel final (1,5), MS/Sal marina (5,6), MS/Agua potable (0,2) y MS/Volumen total (0,14). En próximos estudios se definirá la proporción más conveniente de cada uno de los componentes para mejorar su calidad.

Tabla 1. Relación de componentes para la preparación de los SLNC en un tanque de 200 L con la biomasa foliar de plantas forrajeras proteicas

Componentes	<i>T. diversifolia</i>	<i>M. alba</i>	<i>L. leucocephala</i>
Biomasa fresca (kg)	85	65	55
Materia seca (kg)	12,8	18,2	18,7
IHPLUS-BF (L)	12,8	18,2	18,7
Miel final (L)	8,6	12,2	12,5
Sal marina (kg)	2,3	3,3	3,4
Agua potable (L)	67	95	98
Volumen total (L)	91	129	133

Se mezclaron los componentes en el siguiente orden: se añadió la sal y la miel en un recipiente, se disolvieron en el volumen correspondiente de agua potable, luego se adicionó el IHPLUS-BF y se agitó para homogenizar la solución y evitar daños en las células microbianas. Se mezcló la solución con la biomasa foliar en el tanque de 200 L, quedando embebida esta última. Se agitó diariamente y de manera manual la biomasa foliar para sumergirla en la solución, durante cinco días. Los tanques de fermentación solo se destaparon para la agitación y se mantuvieron a la sombra, a temperatura ambiente que osciló entre los 20 y 32 °C.

Posteriormente, se separó la fracción líquida o SLNC, con una prensa hidráulica de palanca manual, con capacidad de generar una presión de 40 t sobre la biomasa foliar fermentada. Para esto, se creó un recipiente cilíndrico de acero con agujeros de 5 mm en el que se prensó y filtró cualitativamente la biomasa fermentada. Los SLNC se almacenaron en tanques de plástico con tapa, a la sombra, en condiciones ambientales. Se determinó la concentración de sólidos totales en los SLNC de cada planta mediante deshidratación en la estufa a 60 °C (Boxun, China).

Utilización de los SLNC como suplemento en la alimentación de cerdos

Los estudios se realizaron en la unidad de producción porcina de la EEPFIH, durante los meses de julio - septiembre del año 2020. Los cubículos de crianza (largo: 5 m y ancho: 3 m) disponían de agua *ad libitum* y comederos fijos de concreto. Los cubículos se limpiaron diariamente con agua potable a presión, al igual que los comederos. Los animales se pesaron cada diez días con una balanza digital.

El estudio comprendió 60 cerdos de 44 días de nacidos, hijos de madres Yorkland y padres CC21 y Landrace, provenientes de la unidad Frank País del programa provincial de producción porcina. Los animales se vacunaron contra el cólera, se marcaron en las orejas, y se organizaron aleatoriamente en función del peso vivo en seis grupos de 10 cerdos, acorde a los siguientes tratamientos experimentales:

- Grupo control: consumió solo el CC.

Los otros grupos de cerdos consumieron una mezcla del concentrado convencional y el SLNC, de manera que los SLNC sustituyeran el 10% de los sólidos totales del concentrado.

- Grupo tithonia: consumió el SLNC de la tithonia.
- Grupo morera: consumió el SLNC de la morera.
- Grupo leucaena: consumió el SLNC de la leucaena.
- Grupo de la mezcla de SLNC de tithonia, morera y leucaena: consumió la mezcla de SLNC de tithonia, morera y leucaena, en partes iguales de los sólidos totales (3,3 % cada uno).
- Grupo de la mezcla de SLNC de tithonia y morera: consumió la mezcla de SLNC de tithonia y morera, en partes iguales de los sólidos totales (5 % cada uno).

Siempre se agitó previamente el SLNC para homogenizar sus componentes, se extrajo el volumen correspondiente,

se mezcló manualmente con el CC y se suministró inmediatamente a los animales.

El CC estaba compuesto por maíz, soya, trigo y suplementos minerales y vitamínicos, con un 15 % de proteínas totales. El alimento se ofreció una vez al día, en el horario de la mañana.

Análisis proximal de la biomasa foliar, los SLNC y la fracción fibrosa

Se determinó materia seca (MS), cenizas (Cen), materia orgánica (MO), fibra bruta (FB), nitrógeno total por el método de Kjeldhal (NTK), proteínas totales (PT), y la digestibilidad de la materia orgánica (DMO). Todos los ensayos se realizaron según AOAC (2016).

Análisis estadístico

Se realizó el análisis mediante el modelo lineal general, seguido por la prueba de Duncan, con una significación de 0,05 %, en el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2004).

III. Resultados y discusión

Preparación de los SLNC

Los SLNC tuvieron colores diferentes (Figura 1), y alcanzaron valores de pH por debajo de 3,5, debido a la fermentación microbiana desencadenada por el IHPLUS-BF. Los olores producidos por los SLNC fueron similares a los olores característicos de cada planta, y no se detectaron olores fuertes a ácidos como el acético o el propiónico. Se observó la formación de una pasta de color negro con la deshidratación de los SLNC de cada planta para calcular la concentración de sólidos totales (Tabla 2), que se asoció con el alto contenido de miel final de este producto. Por otra parte, se apreció la formación de capas de levaduras en la superficie de los SLNC, después del almacenamiento en tanques plásticos.

Los SLNC de las tres plantas forrajeras proteicas tuvieron diferente concentración de sólidos totales, siendo los derivados de la tithonia los de menor valor. Se determinó que en la MS de los SLNC existió aproximadamente 77 % de MO y 23 % de Cen, debido a la presencia de la sal marina. La MS contenía entre 11 y 13 % de FB y la MO presentó una digestibilidad aproximada al 99 %. La alta digestibilidad de los SLNC los convierte en un producto apropiado para su inclusión en la alimentación de los cerdos después del destete, los cuales tienen deprimido los procesos di-

gestivos por el estrés que sufren al separarse de la madre y los hermanos (Blanco *et al.*, 2017; Degroote *et al.*, 2019).

La FF presentó mayor FB (entre 20 y 30 % de la MS), y menor digestibilidad de la materia orgánica (entre 62 y 65 % de la MO), respecto a los SLNC. La FF de las tres plantas presentó aproximadamente un 90 % de MO y un 10 % de Cen, lo cual es adecuada para utilizarse como alimento para animales rumiantes (McSweeney y Mackie, 2012).

La preparación de los SLNC, favorece la solubilización de los componentes de la biomasa foliar y la producción de biomasa microbiana de alta calidad nutricional, que se comprueba por la alta producción de gases y el descenso del pH en la solución (Santamaría y Lübeck, 2020; McSweeney y Mackie, 2012).

Entre los factores que pudieran contribuir en el desarrollo de la preparación de los SLNC se proponen:

- Se incrementó el área de accesibilidad de los tejidos vegetales al solvente acuoso, mediante la trituración de la biomasa foliar con la máquina troceadora, lo cual propicia la solubilización de sus componentes.
- Se aumentó la fuerza iónica con la sal marina para incrementar la extracción de SLNC (Datos no publicados).
- Se suplementó con miel final de caña de azúcar para estimular el crecimiento microbiano y la secreción de enzimas digestivas que hidrolizan la pared celular de las células vegetales en su medio natural (Blanco *et al.*, 2017; Ojeda *et al.*, 2016).
- Se realizó la agitación de la fermentación para favorecer la difusión de los componentes de la biomasa foliar, su solubilidad y el crecimiento microbiano, inoculado con el IHPLUS-BF.
- Se separó la fracción líquida mediante prensado hidráulico (40 t), lo cual favoreció la extracción de los componentes solubles de la biomasa foliar fermentada.

Efecto de los SLNC sobre los cerdos en la etapa de preceba

Los grupos de cerdos del experimento comenzaron el estudio con un peso promedio inferior al que teóricamente debía tener con esos días de vida (Figura 2). De manera general, los cerdos que consumieron los SLNC mostraron mejor tendencia en la evolución del peso promedio con respecto al grupo control (Figura 2).



Fig. 1. Imágenes de los SLNC de las tres plantas forrajeras proteicas en estudio después de 24 h en reposo.

Tabla 2. Composición proximal de la biomasa foliar fresca y los productos extraídos

Muestras	Concentración (g/L)	MS (%)	MO (% de MS)	MOD (% de MO)	Cen (% de MS)	PT (% de MS)	FB (% de MS)
Morera							
Biomasa fresca	-	28	88,9	62,5	11,1	21,4	15,4
SLNC	110	11	76,2	99,7	23,8	4,0	11
FF	-	44,2	90,1	65,1	9,4	-	29,8
Tithonia							
Biomasa fresca	-	17	86,4	66,8	13,6	18,2	14,3
SLNC	75	7,5	77,2	99,7	22,8	4,3	13,1
FF	-	38,9	89,1	62,9	10,9	-	20,5
Leucaena							
Biomasa fresca	-	32,3	93,1	63,9	6,9	24,5	18,7
SLNC	124	12,4	77,8	98,5	22,2	4,8	11,4
FF	-	40,5	90,9	61,8	9,1	-	24,0

Leyenda. MS: materia seca, MO: materia orgánica, PT: proteínas totales, FB: fibra bruta, FF: fracción fibrosa, MOD: materia orgánica digerible y Cen: cenizas.

Durante la primera etapa, comprendida entre el primer y el segundo pesaje (día 44-54), los animales tuvieron una ganancia de peso diaria (GPD) sin diferencias significativas (Figura 3). Entre el segundo y tercer pesaje (Día 54-61), algunos cerdos del grupo control presentaron paraqueratosis, caracterizada por lesiones en la piel y pérdida del apetito, que se ha relacionado con el desbalance entre el zinc y el calcio en el alimento animal (Wahlstrom, 1957). Esto trajo como consecuencia que la GPD disminuyó significativamente en el grupo control, respecto a los grupos que consumieron los SLNC (Figura 3). De esta forma, se comprobó que los SLNC favorecieron la nutrición al evitar la ocurrencia de trastornos en la salud animal por desbalances en minerales en el alimento, como la paraqueratosis, ya que no se observó durante toda la etapa de preceba en los grupos que consumieron los SLNC. El grupo control se afectó de manera significativa debido a este problema, por lo que se decidió incorporar en este grupo un suplemento vitamínico y mineral, llamado Destetón, para

evitar la muerte animal, teniendo en cuenta las necesidades productivas de la institución que acogió el experimento.

Entre el tercer y cuarto pesaje (Día 61-68), el grupo control se recuperó en GPD, pero quedó por debajo del resto de los grupos, aunque sin diferencias significativas (Figura 3). Entre el cuarto y quinto pesaje, todos los grupos en estudio mostraron GPD sin diferencias significativas, las cuales se mantuvieron con valores similares a la etapa anterior. Entre el quinto y sexto pesaje, también se retrasó en la GPD el grupo control respecto a algunos grupos, como los que consumieron los SLNC preparados con tithonia y morera de manera independiente. Entre el sexto y séptimo pesajes, los grupos mostraron GPD sin diferencias significativas, mientras que, entre el séptimo y el octavo pesaje, se retrasaron significativamente, el grupo control y el grupo que consumió la mezcla de SLNC de morera, tithonia y leucaena, respecto al resto.

De manera general, se apreció que el grupo con mayor tendencia a retrasarse en la GPD en las diferentes etapas

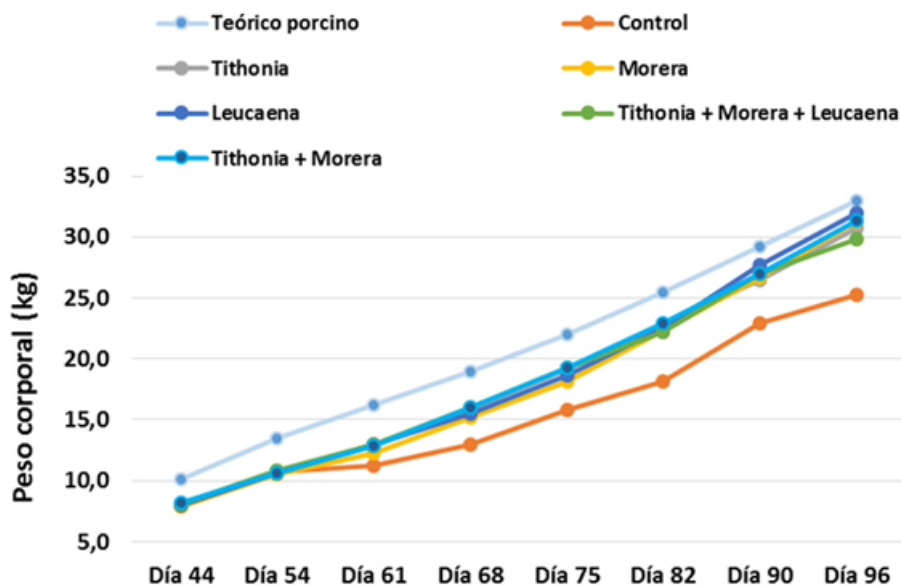


Fig. 2. Comportamiento del peso vivo promedio de los cerdos durante la etapa de la preceba (día 44 y 96 de vida).

de pesajes fue el grupo control. Así, se observó que los SLNC de la morera, la tithonia, la leucaena, y las mezclas evaluadas, favorecieron el crecimiento de los cerdos durante la etapa de preceba.

Por otra parte, los grupos de cerdos que consumieron los SLNC mostraron valores con tendencias a ser mejores que en el grupo control, del peso vivo final, la ganancia de peso en toda la etapa preceba, así como la conversión estimada del alimento en peso vivo (Tabla 3). No obstante, no se detectaron diferencias significativas para estos valores generales mediante el análisis según el modelo lineal general.

Los SLNC permitieron ahorrar concentrado convencional respecto al grupo teórico porcino (Tabla 3). De esta forma, se

comprobó que los SLNC tienen la capacidad de complementar la composición del concentrado convencional.

En cuanto a las enfermedades, la disentería estuvo presente en todos los grupos, siendo los más afectados los que consumieron el SLNC de la tithonia, la mezcla de tithonia, morera y leucaena y el grupo de la mezcla de tithonia y morera, con el 60 % de los animales afectados. Esta enfermedad se caracterizó por la presencia de heces fecales líquidas, con sangre y pequeños fragmentos de la pared intestinal, y disminución en el consumo del alimento, la cual se trató con antibióticos (metronidazol y tilosina intramuscular). Debido a la disentería murieron dos animales durante la preceba, uno en el grupo que consumió el SLNC resultante de la

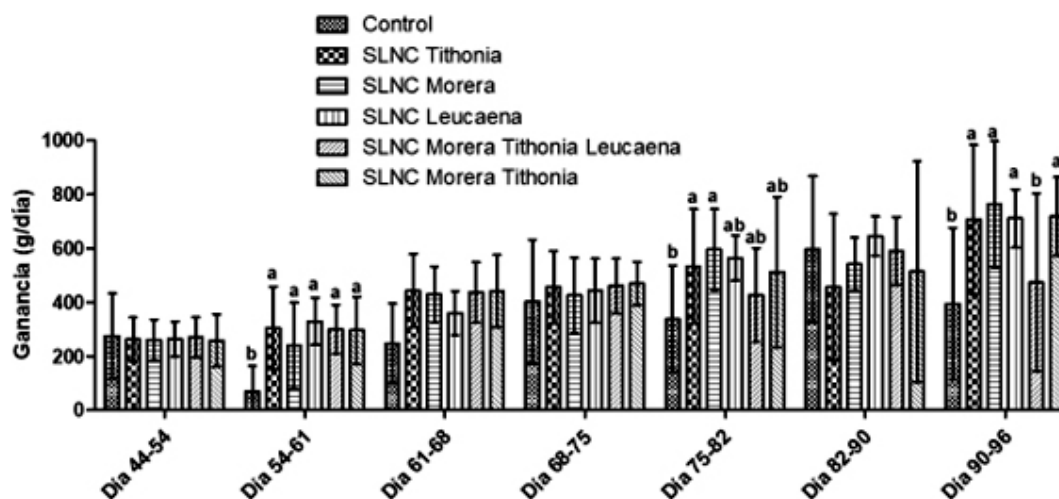


Fig. 3. Comportamiento de la ganancia de peso diaria (GPD) de los cerdos, durante siete etapas de la preceba. Se comparan las GPD en cada periodo del estudio utilizando el modelo lineal general, seguido por el test de Duncan, en el programa SPSS.

Tabla 3. Comportamiento de los cerdos alimentados con SLNC durante la etapa de preceba (Día 44-96 de vida de los animales. En este análisis se usan 10 cerdos por cada tratamiento)

Variables	Control	Tithonia	Morera	Leucaena	Mezcla de 3	Mezcla de 2	TP
Peso inicial, DE (kg)	8,01 ± 1,57	8,07 ± 1,03	7,94 ± 0,85	8,04 ± 1,44	8,13 ± 1,20	8,18 ± 1,16	10,1
Peso final, DE (kg)	25,30 ± 10,15	30,74 ± 8,42	31,28 ± 6,29	32,0 ± 4,92	29,78 ± 5,52	31,36 ± 6,26	33
Peso total (kg)	252,95	307,40	312,77	287,96	267,99	310,95	-
Ganancia/día/animal, DE (kg)	0,33 ± 0,17	0,44 ± 0,15	0,45 ± 0,11	0,46 ± 0,07	0,42 ± 0,09	0,44 ± 0,09	0,44
Ganancia/periodo/animal (kg)	17,29 ± 8,94	22,67 ± 7,72	23,34 ± 5,70	23,96 ± 3,67	21,64 ± 4,65	23,05 ± 4,91	22,9
Ganancia total en el periodo (kg)	172,85	226,70	233,42	215,16	194,79	230,45	-
CCO/animal/periodo (kg)	61,33	62,34	61,61	62,49	62,49	62,34	70,31
SLNC/animal/periodo (L)	0	38,82	40,13	34,30	37,30	38,22	0
Total sólidos ofrecidos (kg)	55,20	59,00	58,92	59,13	59,13	59,00	63,28
Conversión (kg sólidos totales/kg peso animal)	4,02 ± 2,12	2,95 ± 1,21	2,70 ± 0,82	2,52 ± 0,40	2,85 ± 0,65	2,68 ± 0,64	2,76
CC Ahorrado (kg/animal)	8,98	7,97	8,70	7,82	7,82	7,97	0
Enfermos de paraqueratosis (u)	6	0	0	0	0	0	-
Enfermos de disentería (u)	2	4	2	2	6	6	-
Animales muertos (u)	0	0	0	1	1	0	-

DE: desviación estándar, TP: teórico porcino, CCO: concentrado convencional ofrecido, CC: Ahorrado: concentrado convencional ahorrado, Peso total: es la suma de todos los pesos vivos, Ganancia total en el periodo: es la suma de las ganancias de cada animal por grupo. Total de sólidos en alimento: es la suma de los sólidos del CCO (90 % MS) y los sólidos del SLN (En este trabajo el CC ofrecido es lo mismo que CC consumido).

mezcla de la tithonia, morera y leucaena, y otro en el grupo que consumió el SLNC de leucaena. En el momento del estudio, la unidad porcina que desarrolló la investigación no había diagnosticado la presencia de disentería entre sus animales. Por tanto, los animales involucrados en el estudio se encontraban infectados desde el inicio, ya que se comprobó la incidencia de la misma en los primeros días del experimento. Así se observó que los SLNC evaluados no logran erradicar la bacteria *Brachyspira hyodysenteriae* que provoca la enfermedad de la disentería, no obstante, se apreció que pudieran atenuar la incidencia de esta enfermedad en el grupo que consumió el SLNC de morera con solo el 30% de los animales enfermos.

Como aprendizajes adicionales en este estudio se tiene que:

- Los SLNC se mantienen estables, sin cambiar los olores que producen.
- Los animales desarrollan un periodo de adaptación en el consumo de los SLNC, de 10 a 15 días, que se caracterizó por una disminución en el consumo del CC.
- Los SLNC de la leucaena no dañaron el comportamiento de los cerdos, ni se observaron síntomas severos de intoxicación por la mimosina.
- Se reprodujeron las respuestas de mejoras en el crecimiento de los cerdos que se obtuvieron en trabajos anteriores con menos animales, datos sin publicar.
- La mezcla de los SLNC de las tres plantas de este trabajo: morera, tithonia y leucaena, mostró tendencia a ser menos efectiva que los SLNC de cada una por separados, o la mezcla de los SLNC de morera y tithonia.
- La respuesta efectiva de los cerdos se observó con todas las plantas forrajeras evaluadas, lo cual les da mayor flexibilidad a los productores para escoger cual planta establecerá.

IV. Conclusiones

- Los SLNC pueden sustituir el 10 % del concentrado convencional y se comportan como mejoradores de la evolución de los cerdos durante la etapa de preceba. Se supone estos puedan tener efecto probiótico.
- Los SLNC se producen con materias primas y recursos locales por lo que representan una alternativa para contribuir con la soberanía alimentaria.

V. Referencias bibliográficas

Blanco, D., Ojeda, F., Cepero, L. y Estupiñan, L.J. (2017). Effect of the bioproduct IHplus® on the productive and health indicators of pre-fattening pigs. *Pastos y Forrajes*, 40(3), 187-91.

Contino, Y., Herrera, R., Ojeda, F., Iglesias, J.M. y Martín, G.J. (2017). Evaluación del comportamiento productivo en cerdos en crecimiento alimentados con una dieta no convencional. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 152-57.

Degroote, J., Van Noten, N., Wang, W., De Smet, S., Van Ginneken, C. y Michiels, J. (2019). The effect of dietary quercetin on the glutathione redox system and small intestinal functionality of weaned piglets. *Antioxidants*, 8(8), 1-21.

Gutierrez, R., Ballada, M. y Patacsil, M. (2015). The antibacterial property of *Tithonia diversifolia* (Wild Sunflower) extract

from Baguio-Benguet areas in the Philippines, in response to exposure to vehicular traffic. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*, 17(1), 43-52.

Liu, Y., Li, Y., Peng, Y., He, J., Xiao, D., Chen, C., Li, F., et al. (2019). Dietary mulberry leaf powder affects growth performance, carcass traits and meat quality in finishing pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103(6), 1934-45.

Ly, J. (2005). Conferencia Uso del follaje de árboles tropicales en la alimentación porcina Use of tropical tree foliage in pig feeding. *Pastos y Forrajes*, 28(1), 11-28.

Missotten, Joris A.M., Joris Michiels, Jeroen Degroote, y Stefaan De Smet. (2015). Fermented liquid feed for pigs: An ancient technique for the future. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 6(1), 1-9.

Milera, M. (2011). *Morera, un nuevo forraje para la alimentación del ganado*. Editorial Universitaria. <https://isbn.cloud/9789591609397/morera-un-nuevo-forraje-para-la-alimentacion-del-ganado/>

Ojeda, F.; Blanco, D.; Cepero, L.; Rosales, M. (2016). Effect of the inclusion of a biopreparation of efficient. *Pastos y Forrajes*, 39(2), 119-24.

Santamaría, M.; Mette Lübeck. (2020). Production of leaf protein concentrates in green biorefineries as alternative feed for monogastric animals. *Animal Feed Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114605>.

Santamaría, M., Molinuevo, B., Kiel, P., Steinfeldt, S., Uellendahl, H. and Lübeck, M. (2017). Lactic acid fermentation for refining proteins from green crops and obtaining a high quality feed product for monogastric animals. *Journal of Cleaner Production*, 162(June), 875-81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.115>.

Thabti, I., Albert, Q., Philippot, S., Dupire, F., Westerhuis, B., Fontanay, S., Risler, A., et al. (2020). Advances on antiviral activity of *Morus* spp. plant extracts: Human coronavirus and virus-related respiratory tract infections in the spotlight. *Molecules*, 25(8), 1-13.

Wahlstrom, R.C. (1957). *Parakeratosis: A Nutritional Disease of Swine*. Agricultural Experiment Station Circulars. Paper 134. http://openprairie.sdstate.edu/agexperimentsta_circ/134

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores:

Autores	% de participación
Dayron Martín-Prieto	60
Félix Ojeda-García	10
Javier Arece-García	10
Rafael Herrera-González	10
Giraldo Jesús Martín Martín	10

Agradecimientos

Se agradece la participación de Jaime Rivero Cáceres y Julqui Menéndez Pinilla, auxiliares de experimentación agropecuaria, por su decisiva participación para la realización de esta investigación.

Recibido: 25 de septiembre de 2023

Aceptado: 8 de octubre de 2023

EMPLEO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA Y MÉTODOS DE INTEGRACIÓN DE PROCESOS EN LA INDUSTRIA LÁCTEA

Ing. Eliany de la Caridad Valera Sterling* y Dr. C. Eduardo García Noa**

*Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía, Cubaenergía, La Habana, Cuba.

<https://orcid.org/0000-0002-6655-5637>

E-mail: sterling@cubaenergia.cu

**Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana. Cuba

<https://orcid.org/0000-0002-6634-9219>

E-mail: egarcianoa@quimica.cujae.edu.cu

Resumen

La Integración de Procesos ha sido reconocida como un campo de investigación activo en la industria de procesos lácteos, químicos y de alimentos, y los Métodos de Integración de Procesos una herramienta altamente poderosa para identificar y estimar los ahorros potenciales de energía en los procesos industriales. Sin embargo, sobre la aplicación de estos métodos en la industria láctea y en particular en la tecnología de yogur natural hasta ahora, solo breves resúmenes de este importante campo han sido proporcionados en la literatura. Este artículo presenta una revisión sobre el estado del arte en relación a la aplicación de la Programación Dinámica para la optimización de procesos industriales, los métodos de integración de procesos como herramienta para los sistemas de calidad y la mejora continua y la evaluación de oportunidades de uso de fuentes renovables de energía como alternativa, para contribuir a la mejora y disminución de la demanda de energía y reducir el consumo de combustibles fósiles en la industria láctea. Esta revisión puede ser útil para establecer las posibles direcciones que pueden asumir futuras investigaciones que integren los métodos analizados en la industria láctea y particularmente en la producción de yogur natural.

Palabras clave: fuentes renovables de energía, métodos de integración de procesos, procesos lácteos, programación dinámica, revisión.

USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES AND PROCESS INTEGRATION METHODS IN THE DAIRY INDUSTRY

Abstract

Process Integration has been recognized as an active research field in food, chemical and dairy process industry, and Process Integration Methods a highly powerful tool for identifying and estimating potential energy savings in industrial processes. However, deal with the application of these methods in the dairy industry and in particular in yogurt technology so far, only brief summaries of this important field have been provided in the literature. This article presents a review of the state of the art in relation to the application of Dynamic Programming for the optimization of industrial processes, process integration methods as a tool for quality systems and continuous improvement and evaluation of opportunities of use of renewable energy sources as an alternative to contribute to the improvement and reduction of energy demand and reduce the consumption of fossil fuels in the dairy industry. This review could be useful to establish the possible directions that future research could take that integrates the methods analyzed in the dairy industry and particularly in the production of natural yogurt.

Keywords: dairy processes, dynamic programming, process integration methods, renewable energy sources, review.

I. Introducción

La industria alimentaria se encarga del procesamiento industrial de alimentos inocuos, de calidad y responsabilidad con el medio ambiente, (Suárez, 2015) utilizando para el desarrollo de sus actividades productivas, combustibles fósiles. La industria láctea es una de las principales consumidoras de energía de dicha industria; puesto que el uso de la energía es fundamental para asegurar el mantenimiento de la calidad de los productos lácteos (Padilla y Vásquez, 2017) especialmente en los tratamientos de calentamiento y enfriamiento, y en el almacenamiento del producto.

La Integración de Procesos, como plantea (Lorezo *et al.*, 2016) resulta una herramienta muy útil a dicha industria puesto que, le permite disminuir en las operaciones productivas los consumos de energía, agua, materias primas y la generación de residuos contaminantes al medioambiente; garantizando la solución óptima del sistema productivo de forma integrada.

En este artículo se presenta una amplia revisión de la literatura técnica asociada al análisis y descripción de los métodos para la Integración de Procesos, de los Sistemas de Calidad, Mejora Continua y Sistemas Integrados de Gestión.

La Integración de Procesos es un enfoque poderoso utilizado en diversos procesos industriales para mejorar la eficiencia de los mismos, y optimizar el uso de energía, agua y otros recursos. La literatura actual reporta varias técnicas altamente efectivas para el diseño integrado de procesos; siendo los métodos (Leng Chewa *et al.*, 2013) de mayor aplicación aquellos que tienen como base el tratamiento termodinámico y el tratamiento de la programación matemática.

Un Sistema de Gestión de la Calidad establece la política y los objetivos acerca de las actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización con respecto a la calidad (NC ISO 9000, 2015) que es definida; como el conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades expresadas o implícitas. El Sistema de Gestión de la Calidad (Velásquez, 2012) se relaciona con la satisfacción de las expectativas de los clientes. Permite definir y mantener el control de los procesos que contribuyen a obtener productos aceptables para el cliente. Proporciona confianza tanto a la organización como a sus clientes, de su capacidad para suministrar productos que satisfagan los requisitos de forma coherente.

En las últimas décadas las organizaciones han demostrado un marcado interés por la reinversión continua de sus procesos y actividades; buscando las mismas la mejora continua de dichos procesos y, por ende, poder mantenerse exitosamente a lo largo del tiempo. La Mejora Continua (NC ISO 14004, 2016) es una característica fundamental de un sistema de gestión; no es más que la acción recurrente por parte de las organizaciones para aumentar la capacidad de cumplimiento, de buscar continuamente mejorar la eficacia y la eficiencia de los procesos de la empresa. Las mejoras pueden variar desde actividades escalonadas continuas hasta proyectos de mejora estratégica a largo plazo.

Como plantea, (Yáñez y Rea, 2022) una de las herramientas operativas administrativas que ayuda a lograr el éxito sostenido de una organización y alcanzar a su vez la

eficiencia y mejora continua en sus actividades; son los Sistemas Integrados de Gestión (SIG), en los que se integran componentes de calidad, buen desempeño ambiental y capital humano. Estos componentes seleccionados por las empresas para responder a una necesidad particular, pueden aplicarse como sistemas de manera independiente, pero tienen elementos comunes que inducen a su integración.

La integración de los sistemas (Yáñez y Rea, 2022) establece la obligatoriedad de cumplir al mismo tiempo con los requisitos legales y regulatorios, los ambientales, de calidad, y de seguridad y salud en el trabajo; lo que requiere de un mayor esfuerzo en la planificación, el control de los procesos y en la toma de decisiones. Generalmente los sistemas integrados de gestión pueden estar relacionados con una o más normas de referencia, como: Sistemas de Gestión de Calidad, (NC ISO 9001, 2015) Sistema de Gestión de seguridad y salud en el trabajo, (NC ISO 18001, 2015) y Sistemas de Gestión Ambiental (NC ISO 14001, 2015).

Por ende, la integración de los sistemas puede resultar de gran ventaja (Cabalé y Rodríguez, 2020):

- Permite solucionar los conflictos de responsabilidades, optimizar y simplificar el proceso de toma de decisiones basadas en datos integrales.
- Se alcanza con este una mayor coherencia, facilidad de manejo y reducción de los costos de mantenimiento de la documentación, al integrarse en un solo documento aspectos relacionados con la calidad, desempeño ambiental seguridad y salud en el trabajo.
- Se incrementa el rendimiento, las competencias y el entrenamiento de los miembros de la organización, ya que se determinan y suplen al unísono las necesidades de formación de los individuos en varias materias.
- Mejora la eficacia y la eficiencia de los procesos, aumentando la consistencia, la trazabilidad, evitando las redundancias y las incoherencias.
- Se logra un significativo ahorro de recursos en el desarrollo e implementación del SIG y una menor inversión que la necesaria para los procesos de certificación de estos sistemas de manera independiente.

Debido a la dificultad que representa la implementación de todos los sistemas a la vez, la tendencia actual de las empresas, es hacia la puesta en práctica de un Sistema de Gestión de la Calidad y posteriormente integrar los demás; (León *et al.*, 2018) siendo el de la gestión de la calidad el sistema de mayor acogida por las empresas, por estar directamente relacionado con su razón de ser y con los clientes.

También, se hace referencia en este artículo al empleo de estos métodos aplicados en la industria química y de alimentos en general, pero haciendo hincapié en la tecnología para la obtención de yogur natural de leche; ya que el yogur como plantea (Parra, 2012), es un alimento probiótico que aporta grandes beneficios a la salud, siendo la más conocida de todas las leches fermentadas y la de mayor consumo a nivel mundial.

Tecnología del yogur natural. Fermentación láctica

El yogur natural es el producto coagulado que se obtiene a partir de leche tratada, por fermentación con bacterias

como *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, productoras de ácido láctico. La acción de estas bacterias desencadena un proceso denominado *Fermentación Láctica*; (Moreno *et al.*, 2013) en el cual la lactosa (el azúcar de la leche) se transforma en ácido láctico. A medida que el ácido se acumula la estructura de las proteínas de la leche va modificándose y lo mismo ocurre con la textura del producto, pues al alcanzarse el pH (potencial de Hidrógeno) del punto isoeléctrico, la caseína coagula formándose el gel.

Este tipo de yogur no contiene edulcorantes, esencias ni colorantes; puede ser descremado, semidescremado o normal.

En función de su consistencia puede ser firme o compacto; batido con consistencia cremosa (el producto escurre fácilmente) y líquido (yogur batido de menor consistencia) (Legarreta, 2018).

Los métodos de elaboración del yogur natural pueden variar considerablemente, según la materia prima utilizada, la formulación del producto y el tipo de yogur que se desea obtener. La fabricación general (Rodríguez *et al.*, 2017) del mismo, consiste en una vez normalizada la leche en su contenido graso; sea posteriormente homogenizada, para reducir el tamaño de los glóbulos grasos y conseguir una emulsión estable para mejorar la digestibilidad del producto. Luego se procede a la pasteurización, por medio de un tratamiento térmico apropiado, que permita destruir la totalidad de su flora patógena. Una vez pasteurizada, se almacena durante unos minutos y se enfría a la temperatura de fermentación, alrededor de los 45 °C. Dependiendo del tipo de yogur, la fermentación puede efectuarse dosificando el cultivo directamente en el envase de consumo individual (yogur de coágulo) o añadiéndolo en el tanque de incubación (yogur batido) para su envasado posterior. Una vez culminado el proceso de fermentación se enfría y se almacena para su ulterior distribución.

Una solución tecnológicamente factible para asegurar energéticamente este producto lácteo es la integración de energía renovable a dicho proceso tecnológico, como fuente alternativa, para satisfacer la demanda de energía y reducir el consumo de combustibles fósiles; y así lograr con ello satisfacer los requerimientos de agua, vapor y energía, insumos esenciales en dicha actividad productiva.

En esta revisión bibliográfica muchos de los trabajos de investigación se basan en el empleo del Análisis de Procesos, la Modelación Matemática de Procesos, la Simulación de procesos y la Programación Dinámica para la optimización de procesos industriales.

Para lograr la intensificación de los procesos tecnológicos de la industria se ha utilizado el Análisis de Procesos; (Cortés *et al.*, 2020) puesto que, sirve para descubrir las partes débiles del proceso y para la creación de medidas que permitan un mejor aprovechamiento de las materias primas, la energía y los medios de trabajo. El análisis de procesos comprende un examen global de un proceso existente o concebido, el cual se puede realizar bajo un aspecto limitado, unilateral del proceso, o con un enfoque multilateral más complejo, constituye un elemento importante para tomar decisiones más científicas y responsables.

La obtención de modelos matemáticos elaborados a partir de los valores reales del comportamiento de los propios

procesos, es una forma conveniente de analizar dichos procesos; resultando la validación de los mismos imprescindible, para así evitar la posible propagación de errores del análisis efectuado (Fritzson, 2015).

Los modelos matemáticos pueden ser modelos dinámicos, los que son utilizados para los estudios de control automático y afines; y modelos estáticos, los cuales se emplean para estudios de diseño técnico y optimización técnico-económica. Estos modelos pueden considerarse como un soporte o ayuda para la toma de decisiones.

La función clave de la intensificación de procesos es su optimización, la cual se hace con apoyo de modelos fiables. Debido a la complejidad de estos modelos, la optimización de los mismos se realiza en la mayoría de los casos mediante la simulación; (Bolaños, 2014) técnica definida para evaluar un proceso mediante modelos matemáticos.

En la industria de procesos, hay que tomar decisiones que se basan en la evaluación de alternativas sobre el diseño o control operacional del proceso transformativo. Para ayudar a una decisión, tal como plantea, (Fleites *et al.*, 2020) generalmente se deben realizar una serie de cálculos para estimar indicadores de carácter económico, tecnológico, energético o ambiental.

Se han empleado principalmente métodos matemáticos de optimización, tal es el caso de la programación dinámica; (Flores, 2017) técnica desarrollada para resolver problemas en los que es imprescindible la toma de decisiones en periodos sucesivos, sirviendo para la resolución de problemas de optimización complejos, descomponiéndolos en subproblemas más sencillos.

Teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriores, el objetivo general del presente trabajo es establecer el estado del arte en relación a la aplicación de la Programación Dinámica para la optimización de procesos industriales, los métodos de integración de procesos como herramienta para los sistemas de calidad y la mejora continua y cómo pudieran complementarse con el uso de fuentes renovables de energía.

Finalmente, el análisis realizado permite fundamentar en las conclusiones del trabajo, una hipótesis que establece la dirección que pueden asumir futuras investigaciones que integren los métodos analizados en la industria láctea y particularmente en la producción de yogur natural.

II. Desarrollo

Métodos de integración de procesos aplicados en la industria

Numerosos métodos de integración de procesos han demostrado que son muy efectivos para identificar y estimar los ahorros potenciales de energía en la industria. Estos métodos se dividen en tres grupos: Métodos Termodinámicos, Programación Matemática y Métodos Híbridos.

Los Métodos de Integración de Procesos Termodinámicos (Lorenzo, 2016) son apropiados para estimar en forma aproximada en un proceso, los requerimientos mínimos de servicios auxiliares de calefacción y de enfriamiento.

Suelen ser agrupados en métodos basados en el análisis de la primera ley (Tecnología *Pinch*) y métodos basados en el análisis de la segunda ley (análisis exergético y análisis exergoeconómico), siendo la tecnología *Pinch* (Sadeghian

y Beheshti, 2017) conocida como «análisis del pellizco», la herramienta del análisis termodinámico que mayor aplicación industrial ha tenido.

Actualmente ha pasado de ser una herramienta dirigida a mejorar la eficiencia energética en el diseño de redes de recuperación de calor a ser una metodología de optimización tanto para diseñar procesos nuevos como para modificar procesos existentes.

La Programación Matemática como Método de Integración de Proceso considera métodos de optimización matemática; (Pérez, 2017) utilizando modelos detallados y algoritmos convencionales, los que permiten optimizar las condiciones de operación y dimensiones de los equipos en forma simultánea. Estos métodos son herramientas potentes y eficaces para analizar y optimizar cualquier sistema en general; emplean principalmente la programación lineal, no lineal y dinámica, resultando la programación dinámica (Muriedas, 2021) una metodología perfecta, amigable y de mucha ayuda puesto que muestra los posibles escenarios óptimos que va a satisfacer las expectativas de la problemática. En este caso se obtiene la resolución mediante la recursividad y no contando con una fórmula estándar, enfoque usado para la solución de problemas de tipo general. Las ecuaciones específicas usadas son desarrolladas para que representen cada situación individual.

El Método Híbrido como plantea, (Bergamin *et al.*, 2021) es un Método de Integración de Proceso que combina las ventajas de los conocimientos del proceso del análisis Pinch con las ventajas de los métodos de programación matemática para abordar con éxito el problema general.

Los métodos de Integración de Procesos pueden ser de naturaleza secuencial o simultánea. El análisis Pinch representa un método de solución secuencial, mientras que el problema de programación matemática se puede resolver utilizando un enfoque secuencial o simultáneo tal como plantea (Čuček *et al.*, 2019). Por ende, la programación matemática resulta el método más completo puesto que los termodinámicos presentan ciertas dificultades cuando se los pretende utilizar para optimizar la síntesis y diseño de cualquier proceso en los que los equipos-componentes se encuentran fuertemente acoplados (Manassaldi, 2017).

No han sido pocas las investigaciones desarrolladas en relación a la aplicación de los Métodos de Integración de Procesos en la industria láctea, química y de alimentos. En este artículo se hace mención sobre algunos estudios de casos informados, con respecto a la aplicación de estos métodos en sectores industriales; (Nemati *et al.*, 2019) aplica en la industria alimentaria el método Pinch para el uso eficiente del agua.

En la industria láctea (Bergamini *et al.*, 2021) emplea el bridge framework en una planta de producción de leche en polvo como herramienta sistemática de apoyo a la toma de decisiones, para la integración de procesos en plantas industriales modernizadas; también (Jablonsky y Skocdoplova, 2017) ha aplicado la programación por metas para optimizar linealmente el proceso de producción en una procesadora de leche. Actualmente las industrias suelen aplicar para optimizar el uso del agua y la energía, la programación matemática con un enfoque simultáneo.

Se evidencia en (Kermani *et al.*, 2016) donde se presentan varios ejemplos de aplicación; tal es el caso de (Ahmetović *et al.*, 2013) y (Ahmetović *et al.*, 2015) este último presenta una revisión sistemática y completa de los artículos publicados en las últimas dos décadas acerca de la integración del agua y la energía; con el uso de métodos sistemáticos basados en el análisis Pinch (Luo *et al.*, 2014) y (Hou *et al.*, 2014); la programación matemática (Ahmetovic *et al.*, 2014), (Ibric *et al.*, 2014), (Ibric *et al.*, 2014) (Chen *et al.*, 2014), (Jiménez *et al.*, 2014), (Seid y Majozi, 2014) y su combinación (Sahu y Bandyopadhyay, 2012) siendo las referencias más sobresalientes las recién aludidas.

En cambio, no sucede de igual forma con las investigaciones relacionadas particularmente con la aplicación de estos métodos en la tecnología del yogur natural, que suelen ser menos; de lo reportado en la literatura se encuentra el estudio realizado por (Ramírez *et al.*, 2019) en el cual, se evidencia cómo se puede mejorar la productividad de la elaboración de yogur por medio de un simulador.

Programación dinámica aplicada en la industria

La programación dinámica es una técnica matemática basada en el llamado «Principio de optimalidad de Bellman» desarrollado por el matemático Richard Bellman en la década de 1950; (Flores, 2017) que permite a resolver decisiones secuenciales interrelacionadas, combinándolas para obtener la solución óptima. El modelo de programación dinámica no sigue un patrón estándar; para cada situación especial, será indispensable establecer cada uno de los parámetros que caracterizan las variables únicas y usar aquellas que generan las soluciones óptimas (Muriedas, 2021).

El método de solución para los problemas de programación dinámica está desarrollado para encontrar las soluciones óptimas para cada periodo o etapa en los escenarios que se presenten; comenzando de atrás hacia adelante y desplazándose etapa por etapa para encontrar cada uno de los parámetros óptimos de solución, hasta encontrar los parámetros óptimos de la etapa inicial (Vasquez, 2016).

Esta característica de la Programación Dinámica, hace que sea ideal para aplicarlo en la optimización de las tecnologías lácteas, que pueden considerarse procesos, que van desarrollándose en etapas, tal y como se expone al describir la tecnología para la obtención del yogur natural. En este caso las etapas serían: recibimiento y preparación de la leche, pasteurización-homogenización, preparación del inóculo, inoculación y fermentación, envasado y almacenamiento.

Se aplica entonces, el método que corresponda para hallar las condiciones óptimas de cada una de esas etapas. No son muchos los estudios que han abordado el tema referente a la aplicación de la programación dinámica en la resolución de problemas que se presentan en la industria láctea, química y de alimentos y en particular en la tecnología del yogur natural.

Una de las investigaciones que ha profundizado en el tema (González *et al.*, 2018) resalta, que la razón por la que se evita el uso de la programación dinámica es debido a la dimensión de los espacios involucrados, puesto que la dimensión del espacio de estados crece de forma exponencial lo que se conoce como maldición dimensional. Se debe tener en cuenta en este caso que el espacio de estados, el

espacio de acciones y el espacio de realizaciones son fuentes de maldición dimensional, las cuales han de determinar el tipo de problema y método de aproximación a usar.

El problema clásico con el que se pueden introducir las ideas esenciales de la programación dinámica, es el problema de la ruta óptima (ruta corta pensando en distancias o ruta más barata pensando en costos). Ofrece el algoritmo de programación dinámica una forma elegante y transparente para resolver el problema anteriormente planteado. El algoritmo de programación dinámica funciona para resolver una familia de problemas de minimización, deterministas y con un número finito de etapas (González *et al.*, 2018).

Para reconocer que se está frente a un problema que se puede plantear como una programación dinámica (Vasquez, 2016), es necesario identificar su estructura: etapa, estado y política. El problema a desarrollar es divisible en etapas, las mismas que tendrán sus propias políticas de decisión.

Los estados deben estar asociados a cada etapa del problema y pueden ser finitos o infinitos, dependerá de las condiciones posibles que presente el problema y la política de decisión del estado actual, que se transforma en un estado inicial para la siguiente etapa.

A medida que el problema aumenta en número de tareas u operaciones tornándose este, complejo y poco práctico. Es importante señalar que, a pesar del tiempo de cálculo que se extiende y crece de forma exponencial, la solución obtenida por el algoritmo de programación dinámica tiende a mostrar resultados mejores y exactos. Resultados estos que se esperan obtener al aplicar la programación dinámica como Método de Integración de Procesos en la tecnología del yogur y lácteos en general.

Oportunidades de uso de la energía renovable en la industria láctea

Dado el continuo desarrollo industrial y el encarecimiento de las fuentes de energía convencionales se ha hecho necesaria la introducción de Fuentes Renovables de Energía (FRE) en el sector industrial.

El empleo de este tipo de energía puede resultar de gran ventaja en la industria ya que la misma es inagotable, es una energía limpia, su costo es relativamente bajo y ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero contribuyendo con ello a frenar el cambio climático (Robles y Rodríguez, 2018).

Las siguientes soluciones tecnológicas pueden ser evaluadas por el sector industrial, tal plantea (Bravo, 2015) como oportunidades de uso de energía renovable en la industria.

- Una opción madura tecnológicamente son los sistemas solares térmicos industriales, los que contribuyen a disminuir el consumo de combustible y electricidad en la producción de vapor y/o calentamiento de agua. Son los sistemas fotovoltaicos la principal opción disponible para disminuir el consumo de electricidad de la red eléctrica, permitiendo con ello el autoabastecimiento eléctrico. Las complejidades de los sistemas fotovoltaicos pueden ir desde sistemas conectados directamente al sistema eléctrico hasta microrredes eléctricas que pueden integrar otras FRE, grupos electrógenos y/o bancos de batería.

- Puede emplearse biogás como combustible en calderas, obtenido a partir del tratamiento anaerobio de aguas residuales, lo que permite la sustitución del diésel y *fuel oil* siempre que esto sea posible. Esta acción debe ser acompañada con la modificación o sustitución de los quemadores de las calderas para permitir en ellas el uso del biogás como combustible. La energía proveída por el biogás también puede ser utilizada en un generador para producir electricidad.
- La biomasa forestal en calderas puede usarse para cubrir la demanda de combustible en las actividades que no generan residuos líquidos orgánicos o en las que el uso del biogás producido no cubre completamente el consumo de combustible. Tecnológicamente esto es posible mediante la incorporación de calderas de biomasa para cubrir la demanda a base de vapor; también puede lograrse mediante la adaptación de las existentes al uso de la biomasa como combustible, al incorporar quemadores de sólidos o gasificadores de biomasa. Esta biomasa puede ser utilizada, además, para la producción de electricidad.

Actualmente se han realizado significativos estudios prácticos referentes a la implementación de soluciones tecnológicas con FRE en procesos industriales:

- Estudio realizado en una planta de helado en Cuba (Morales y Cisneros, 2020)
- Evaluación de plantas termosolares en Cuba para la producción de electricidad (Cisneros *et al.*, 2021)
- Evaluación del potencial de producción de biogás en la industria agroalimentaria y pecuaria (Suárez Hernández *et al.*, 2018), así como también el estudio asociado a la adopción de energía renovable en el proceso de fermentación del yogur (Felipe, 2014)

En el proceso de producción de yogur natural las necesidades de calor que se requieren en función de los requerimientos de la operación, se cubren en su mayor parte con el uso de agua caliente o vapor de agua obtenida de la combustión de combustibles fósiles.

Las necesidades de refrigeración, iluminación, ventilación y equipos de proceso se cubren con uso eléctrico.

En estas operaciones también se generan residuos líquidos orgánicos los cuales pueden tratarse por biodigestión anaerobia como vía de descontaminación y eliminación de residuos. Es por ello que en este proceso el empleo de FRE desde los sistemas solares (tanto térmicos como fotovoltaicos hasta fuentes bioenergéticas dígase biomasa húmeda y sólida) son de gran ayuda para contribuir a la mejora y disminución de la demanda eléctrica y reducir el consumo de combustibles fósiles.

III. Conclusiones

Dado el continuo desarrollo industrial hace unos años y el encarecimiento de las fuentes de energía convencionales, se ha apostado por asegurar a la industria condiciones más adecuadas de productividad y competitividad, lo que es un posible camino para tornarla energéticamente más eficiente.

Para ello se han implementado técnicas de integración de procesos que garantizan la mejora continua de los procesos industriales y la calidad de sus productos. Se ha aplicado la programación matemática como método de integración para la obtención de soluciones óptimas que permitan servir de ayuda en la toma de decisiones. Se confirma la programación dinámica como una metodología muy amigable que muestra los posibles escenarios óptimos y que satisface las expectativas de la problemática. También se ha apostado por la adopción de energías limpias para tratar de minimizar en mayor medida el uso de combustibles fósiles y así permitir satisfacer los requerimientos de agua vapor y energía en la industria.

A partir de la experiencia acumulada en la aplicación de los métodos para la integración de procesos y la programación dinámica para su optimización, es posible establecer un procedimiento general para la mejora de los indicadores técnico-económicos en la tecnología para la obtención de yogur y otras producciones lácteas, que se complementen con el uso de fuentes renovables de energía.

IV. Referencias

- Ahmetović, E., Ibrić, N., Kravanja, Z., & Grossmann, I. E. (2015). Water and energy integration: A comprehensive literature review of non-isothermal water network synthesis. *Computers and Chemical Engineering*, 82, págs. 144-171.
- Ahmetović, Elvis; Kravanja, Zdravko. (2013). Simultaneous synthesis of process water and heat exchanger networks. *Energy*, 57(1), págs. 236-250.
- Ahmetović, E., Ibrić, N., & Kravanja, Z. (2014). Optimal design for heat-integrated water-using and wastewater treatment networks. *Applied Energy*, 135, págs. 791-808.
- Bergamin, R., VanNguyen, T., Bühler, F., Bellemo, L., & Elmegegaard, B. (2021). A method for faster application of process integration techniques in retrofit situations. *Journal of Cleaner Production*, 284.
- Bergamini, R., Moussavi, A., Shahhosseini, H. R., Nguyen, T.-V., & Bellemo. (2021). Analysis of energy integration opportunities in the retrofit of a milk powder production plant using the Bridge framework. *Journal of cleaner production*, 328.
- Bolaños Plata, O. (2014). *Importancia de la Simulación en la Mejora de Procesos*. Universidad Nacional Autónoma de México, Director: Silvina Hernández García. Tesis para obtener el título de Ingeniero Industrial.
- Bravo Hidalgo, D. (2015). Energía y desarrollo sostenible en Cuba. *Centro Azúcar*, 42(4).
- Cabalé Miranda, E., & Rodríguez Pérez de Agreda, G. (2020). Sistemas de gestión. Importancia de su integración y vínculo con el desarrollo. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 8(1).
- Chen, Z., Hou, Y., Li, X., & Wang, J. (2014). Simultaneous optimization of water and heat exchange networks. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 31, págs. 558-67.
- Cisneros Ramírez, C., Menéndez Pupo, A., Moralobo Padrón, M., Trinchet Soler, F., & Fernandez-Aballí Altamiran, C. (2021). Evaluación técnico-económica preliminar de la producción de electricidad. *Ingeniería Energética*, 42(1).
- Cortés Martínez, R., Ramos Miranda, F., Miño Valdés, J., & Pérez Navarro, O. (2020). Modelación y simulación de procesos en la intensificación de instalaciones de. *Ingenio*, 2(2).
- Čuček, L. y. (2019). Approaches for retrofitting heat exchanger networks within processes and Total Sites. *Journal of Cleaner Production*, 211, págs. 884-894.
- Felipe Lorenzo, D. (2014). *Estudio de eficiencia energética con energía renovable para la fermentación del yogur*. Universidad de La Laguna. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Director: Valerio. L. Gutiérrez Afonso. Trabajo Fin de Grado, La Laguna.
- Fleites Avila, Y., Martí Marcelo, C., Albornos Carvajal, Y., Miño Valdés, J., & González Suárez, E. (2020). Experiencias de las Aplicaciones de la Programación Lineal en la industria de Procesos Químicos en Cuba. *Centro Azúcar*, 47.
- Flores Verdugo, I. (2017). *Modelo de programación de la producción con metodología de investigación de operaciones para la empresa Energy Cool*. Universidad del Azuay. Escuela de Ingeniería de la Producción y Operaciones, Director: Iván Coronel. Trabajo de titulación previo a Obtención del título de Ingeniero en Producción y Operaciones, Cuenca.
- Fritzson, P. (2015). *Introducción al Modelado y Simulación de Sistemas Técnicos y Físicos con Modelica*.
- González Sánchez, D., Díaz Infante, S., & Peñuñuri, F. (2018). Del algoritmo de programación dinámica a los procesos Markovianos de decisión. *Miscelánea Matemática*, 66, págs. 57-80.
- Hou, Y., Wang, J., Chen, Z., Li, X., & Zhang, J. (2014). Simultaneous integration of water and energy on conceptual methodology for both single- and multi-contaminant problems. *Chemical Engineering Science*, 117, págs. 436-44.
- Ibrić, N., Kravanja, Z., & Ahmetović, E. (2014). Two-step mathematical programming synthesis of pinched and threshold heat-integrated water networks. *Journal of Cleaner Production*, 77, págs. 116-39.
- Ibrić, N., Ahmetović, E., & Kravanja, Z. (2014). Simultaneous optimization of water and energy within integrated water networks. *Applied Thermal Engineering*, 70, págs. 1097-122.
- Jablonsky, J., & Skocdopolova, V. (2017). Análisis y Optimización del Proceso de Producción en una Empresa Procesadora de Leche. *Información Tecnológica*, 28(4), págs. 39-46.
- Jiménez Gutiérrez, A., Lona Ramírez, J., Ponce Ortega, J. M., & Halwagi, M. (2014). An MINLP model for the simultaneous integration of energy, mass and properties in water networks. *Computers & Chemical Engineering*, 71, págs. 52-66.
- Kermani, M., Périn-Levasseur, Z., Benali, M., Savulescu, L., & Maréchal, F. (2016). A novel MILP approach for simultaneous optimization of water and energy: Application to a Canadian softwood Kraft pulping mill. *Computers and Chemical Engineering*, 102, págs. 238-257.
- Legarreta Cruz, D. (2018). Integración energética en la UEB de *Productos Lácteos de Santa Clara*. Universidad Central Marta Abreu de la Villas, Tutor: Juan Pedro Hernandez Tousef, Santa Clara.
- Leng Chewa, I. M., Yee Foo, D. C., Bonhivers, J. C., Stuart, P., Alva Argaez, A., & Savulescu, L. E. (2013). A model-based approach for simultaneous water and energy reduction in a pulp and paper mill. *Applied Thermal Engineering*, 51, págs. 393-400.
- León Ramentol, C. C., Menéndez Cabezas, A., Rodríguez Socarrás, I. P., García González, M. C., & Fernández Torres, S. (2018). Importancia de un sistema de gestión de la calidad en la Universidad de Ciencias Médicas. *Archivo Médico de Camagüey*, 22(6).

- Lorenzo Llanes, J. (2016). *Propuesta de Alternativas para la Integración de Agua y Energía en la producción de Azúcar Crudo*. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Tutor: Alain Perez González. Memoria escrita para optar por el título de Máster en. La Habana.
- Lorezo Llanes, J., Zumalacárregui de Cárdenas, L., & Mayo Abad, O. (2016). Integración Simultánea de Agua y Energía: Logros y Desafíos. *Centro Azúcar*, 43(1), págs. 37-50.
- Luo, Y., Liu, Z., Luo, S., & Yuan, X. (2014). Thermodynamic analysis of non-isothermal mixing's influence on the energy target of water-using networks. *Computers & Chemical Engineering*, 61, págs. 1-8.
- Manassaldi, J. (2017). *Aplicación de Técnicas de Programación Matemática y Métodos de Integración de Procesos para determinar la Síntesis y el Diseño óptimo de una Planta de Cogeneración de Ciclo Combinado*. Universidad Tecnológica Nacional, Director: Sergio F. Mussati. Tesis presentada como parte de los requisitos de la Universidad Tecnológica Nacional para la obtención del Grado Académico de Doctor en Ingeniería, Rosario.
- Morales Pons, Á., & Cisneros Ramírez, C. (2020). Estudio de Factibilidad de la Aplicación de la Energía Solar en una Planta de Helados. *Eco Solar*, 74, ISSN: 1028-6004. La Habana: Ed. Cubasolar.
- Moreno Aznar, L., Cervera Ral, P., Ortega Anta, R., Díaz Martín, J., Baladia, E., & Basulto, J. (2013). Evidencia científica sobre el papel del yogur y otras leches fermentadas en la alimentación saludable de la población española. *Nutrición Hospitalaria*, 28(6).
- Muriedas García, S. (2021). *Programación Dinámica con Aplicaciones en la Economía*. Universidad de Cantabria, Director: Luis Alberto Fernández Fernández. Trabajo de Fin de Grado para acceder al Grado en Matemáticas, Cantabria.
- NC ISO 14001. (2015). *Oficina Nacional de Normalización (NC). Sistema de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso*. La Habana, Cuba.
- NC ISO 14004. (2016). *Oficina Nacional de Normalización (NC). Sistemas de Gestión Ambiental-Directrices Generales sobre la Implementación*. IDT. 2da ed. La Habana: Cuban National Bureau of Standards; 2016.
- NC ISO 18001. (2015). *Oficina Nacional de Normalización (NC). Seguridad y salud en el trabajo. Sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo*. Requisitos. La Habana, Cuba.
- NC ISO 9000. (2015). *Oficina Nacional de Normalización (NC), Norma Cubana Sistemas de Gestión de la Calidad - Fundamentos y Vocabulario*. IDT. 3ra ed. La Habana: Cuban National Bureau of Standards; 2015.
- NC ISO 9001. (2015). *Oficina Nacional de Normalización (NC). Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos*. La Habana, Cuba.
- Nemati Amirkolaii, K., Romdhana, H., & Lameloise, M. L. (2019). Pinch Methods for Efficient Use of Water in Food Industry: A Survey Review. *Sustainability*, 11(16), págs. 1-26.
- Padilla Díaz, D. S., & Vásquez Giraldo, D. J. (2017). Innovación y energía en las unidades productivas del sector lácteo. La eficiencia energética en la producción láctea.
- Parra Huertas, R. A. (2012). Yogur en la salud humana. *Lasallista de Investigación*, 9(2).
- Pérez León, A. (2017). *Propuesta de Integración Energética en la Planta de Queso Crema de la UEB Productos Lácteos de Cárdenas*. Universidad de Matanzas, Tutor: Agustín Benítez Hernández. Tesis Presentada como Requisito Parcial para la Obtención del Título de Máster en Ingeniería Asistida por Computadora, Matanzas.
- Ramírez Martín, C., Cavielles Rojas, N., Méndez Salamanca, N., Cifuentes Osorio, R., & Ochoa Echeverría, M. (2019). Simulator to Improve the Productivity of Yogurt Processing Based on a Model of Finite Automaton. *International Journal of Engineering and Technology*, 11(2), págs. 344-351.
- Robles Algarin, C., & Rodríguez Álvarez, O. (2018). Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia. *Espacios*, 39(34), pág. 10.
- Rodríguez Gregorich, A., Benítez Cortés, I., Yero Pérez de Corcho, Y., & Barrios Rodríguez, M. (2017). Estimación de la inversión de una planta para producir yogurt natural. *Centro Azúcar*, 44(4).
- Sadeghian Jahromi, F., & Beheshti, M. (2017). An extended energy saving method for modification of MTP process heat exchanger network. *Energy*, 140, págs. 1059-1073.
- Sahu, G. C., & Bandyopadhyay, S. (2012). Energy optimization in heat integrated water allocation networks. *Chemical Engineering Science*, 69, págs. 352-64.
- Seid, E. R., & Majoz, T. (2014). Optimization of energy and water use in multipurpose batch plants using an improved mathematical formulation. *Chemical Engineering Science*, 111, págs. 335-49.
- Suárez Hernández, J., Sosa Cáceres, R., Martínez Labrada, Y., Curbelo Alonso, A., Figueredo Rodríguez, T., & Cepero Casas, L. (2018). Evaluación del potencial de producción del biogás en Cuba. 41(2).
- Suárez, J. (2015). Producción integrada de alimentos y energía a escala local. *Pastos y forrajes*, 38(1), 2-7.
- Vasquez, G. F. (2016). *Aplicación de modelo de programación dinámica para la asignación de recursos del área de fuerza de ventas de la empresa Total Potentials*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Asesor: Bouillon Sardon, Adolfo. Trabajo de Suficiencia Profesional para optar al Título de Licenciado en Administración, Lima.
- Velásquez Rueda, M. (2012). Planificación de un sistema. *Sig-nos*, 4(2).
- Yáñez Moretta, P., & Rea Vaca, F. (2022). Sistemas Integrados de Gestión en un contexto de responsabilidad social. *Polo del Conocimiento*, 7(1).

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores:

Ing. Eliany de la Caridad Valera Sterling: Investigación, Redacción-borrador original y Redacción-revisión y edición.
Dr. C. Eduardo García Noa: Conceptualización, Metodología y Supervisión.

Recibido: 30 de septiembre de 2023

Aceptado: 9 de octubre de 2023

PROYECTO AMBIENTAL COMUNITARIO SALVEMOS A LA PETATE, LAS POZAS, MUNICIPIO BAHÍA HONDA, ARTEMISA

Por M. Sc. **Julio Ismael Martínez Betancourt*** y Téc. **Joel Reinoso Triguero****

*Jardín Botánico Nacional (JBN), Universidad de La Habana (UH).

<https://orcid.org/0000-0003-4028-6624>

E-mail: julio.martinez@cenpalab.cu

**Unidad San Juan de Guacamaya, Empresa Flora y Fauna (EFF), Artemisa.

Resumen

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados del proyecto ambiental comunitario Salvemos a la Petate, ejecutado entre los años 2005-2017 y desarrollado por educadores ambientales del Jardín Botánico Nacional de Cuba, en coordinación con la Estación de San Juan de Guacamaya, de la Empresa Flora y Fauna de la provincia de Artemisa. Se destacan los diferentes grupos meta, principales acciones educativas realizadas y los resultados obtenidos. Los métodos análisis-síntesis, lógico-deductivo y etnográfico, además del análisis documental, la observación directa y participante, la aplicación de entrevistas etnográficas semiestructuradas y el conocimiento de historias de vida, le sirvieron de basamento teórico-metodológico a la investigación realizada. Los principales actores del proyecto fueron artesanos, estudiantes de primaria y secundaria, hortelanos, médicos de la familia, personas de la tercera edad y religiosos. Entre las principales acciones ejecutadas se incluyen: el fomento del interés por la historia y valores naturales patrimoniales locales, la promoción de una adecuada educación ambiental conservacionista, el aumento de la cobertura arbórea comunitaria con el cultivo de endémicos y árboles nativos y la eliminación de plantas invasoras. El proyecto permitió extender el accionar educativo comunitario del Jardín Botánico Nacional, coadyuvó a mejorar los vínculos del jardín con la comunidad de Las Pozas, crear sentido de pertenencia ambiental en sus miembros, y potenció la acción popular en la solución e impulso de problemas ambientales locales.

Palabras clave: conservación, educación ambiental, jardines botánicos.

LET'S SAVE THE PETATE COMMUNITY ENVIRONMENTAL PROJECT, LAS POZAS, MUNICIPALITY OF BAHÍA HONDA, ARTEMISA

Abstract

The objective of this work is to present the results of the community environmental project Save the Petate, executed between the years 2005-2017 and developed by environmental educators from the National Botanical Garden of Cuba, in coordination with the San Juan de Guacamaya, from the National Company for the Protection of Flora and Fauna. The different target groups, main educational actions carried out and the results obtained. The analysis-synthesis, logical-deductive and ethnographic methods, in addition to documentary analysis, direct and participant observation, the application of semi-structured ethnographic interviews and knowledge of life stories, served as a theoretical-methodological basis for the research carried out. The main actors of the project were artisans, primary and secondary school students, gardeners, family doctors, senior citizens and religious people. Among the main actions carried out are the promotion of interest in history and local natural heritage values, the promotion of adequate environmental conservation education, the increase in community tree cover with the cultivation of endemic and native trees and the elimination of invasive plants. The project allowed the extension of the community educational actions of the National Botanical

Garden, helped to improve the links of the garden with the community of Las Pozas, created a sense of environmental belonging in its members, and promoted popular action in the solution and promotion of local environmental problems.

Keywords: *pconservation, environmental education, Botanical Gardens.*

I. Introducción

A partir del año 2000 especialistas del Jardín Botánico Nacional, de la Universidad de La Habana (JBN-UH) comenzaron a estudiar la ecología de una joya de la flora cubana: la palma Petate (*Coccothrinax crinita* (Griseb. & Wendl. ex C. Wright) Becc. ssp. *crinita*, *Arecaceae*) (Pinares, 2004).

C. crinita spp. *crinita*, conocida popularmente como palma Petate (PP), es un endémico estricto de Cuba occidental que crece la ladera norte del Pan de Guajaibón, en la Sierra del Rosario. Esta distribución puntual se restringe al bosque en galería asociado a ríos o arroyos, en terrenos angostos, a orillas de los cañadones, ecotopo natural de la especie (Berazaín y Gutiérrez, 2016, p. 12) (Figura 1).

Es una palma de gran belleza, de entre 8-10 m de altura, tronco de unos 20 cm de diámetro, por lo general cubierto de largas, finas y flexibles fibras de la vaina foliar, desnudo cuando muy adulta. Sus hojas son grandes, suaves, casi orbiculares (casi circular). Presenta inflores-



Fig. 1. *Coccothrinax crinita* spp. *crinita*, finca Ahocinado, Las Pozas (2005). Foto: J.I. Martínez.

cencias largamente ascendentes y ramosas, que en la fructificación se doblan hacia abajo por el peso de los frutos, de hasta 2 cm de diámetro, de color rosado o púrpura cuando están maduros (Leiva, 2008). El nombre genérico *Coccothrinax* deriva probablemente de coco (fruto como una baya), y *thrinax* (tridente), referente a los segmentos divididos y afilados de la hoja. El epíteto específico *crinita* significa «peludo», es decir, con pelos semejante a la crin de un caballo (Figura 2). La planta frecuentemente es cultivada como ornamental (Pérez *et al.*, 2022).

Tradicionalmente las hojas y troncos de la planta han sido utilizados para la fabricación artesanal de sombreros, cepillos, escobas, pilotes para cercas y para la construcción de viviendas, rellenos de almohadas y colchones, así como para cerrar sacos de carbón. Los frutos se han empleado en la alimentación de cerdos (Martínez & Miranda, 2009-2010). Ciclones e incendios, son dos de los fenómenos naturales extremos que han afectado las poblaciones naturales, además de la ganadería intensiva y la presencia de plantas invasoras, como la aroma amarilla (*Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn.), y el marabú (*Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn). Debido a lo antes expuesto la especie está reportada en estado crítico (CR) de conservación (González *et al.*, 2016, p. 57).

Con estos antecedentes, comienza a ser ejecutado en la comunidad rural de Las Pozas, en el año 2005, un proyecto ambiental comunitario (PAC) para contribuir al restablecimiento de una población viable en la naturaleza de PP. Cinco años después, en el 2010, se logró financiamiento del programa de Pequeñas Donaciones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), que permitió promover un movimiento participativo y desarrollo lo-



Fig. 2. Juvenil de *Coccothrinax crinita* spp. *crinita*, finca Río Arriba, Las Pozas (2015). Foto: J.I. Martínez.

cal, destinado principalmente a la reposición de la especie amenazada para su conservación *in situ*; así como, propiciar la capacitación de pobladores locales en este proceso cognitivo, la mejoría de su calidad de vida y la necesidad del cuidado, protección y conservación de la PP (Hernández, 2016, p. 20; Martínez, 2016, p. 56) . Ver Figura 3.

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados del PAC Salvemos a la Petate, ejecutado entre los años 2005 y 2017, en la comunidad de Las Pozas, del municipio Bahía Honda, provincia de Artemisa.



Fig. 3. Logo del proyecto ambiental comunitario Salvemos a la Petate (2012). Foto: J.I. Martínez.

II. Materiales y métodos

Los métodos análisis-síntesis, lógico-deductivo y etnográfico, además del análisis documental, la observación directa y participante, la aplicación de entrevistas etnográficas semiestructuradas y el conocimiento de historias de vida, le sirvieron de basamento teórico-metodológico a la investigación realizada. Se ha tenido en cuenta la experiencia del primer autor como educador ambiental del JBN-UH, acumulada durante 38 años, y el conocimiento y dominio del técnico de conservación de la zona objeto de estudio. En el análisis metodológico se destacan los elementos principales que determinan el funcionamiento y efectividad del proyecto ambiental comunitario: grupos meta, diagnóstico, objetivo general, específicos, y plan de acción.

Área de estudio

La comunidad de Las Pozas está ubicada en los 22.83° N y los 83.28° W, a 17 km, al oeste de Bahía Honda, cabecera municipal, y a ambos lados del vial que discurre por todo el litoral norte de la provincia de Artemisa. Limita al norte con las aguas del Mar Caribe y con el Consejo Po-

pular El Morrillo, al sur con la cordillera de la Sierra del Rosario, al oeste con el municipio La Palma y al este con el Consejo Popular Harlem. En el año 2008, Las Pozas contaba con 3146 habitantes, distribuidos en siete circunscripciones que abarcaban una extensión territorial de 184.5 km². Por grupos etarios la población se dividía en: 437 niños, 351 jóvenes y 2358 adultos, de estos últimos 1095 mujeres y 1263 hombres. La población se agrupaba en 524 núcleos familiares. Contaba con ocho escuelas rurales para la enseñanza primaria, con un centro mixto de enseñanza primaria y secundaria, y una matrícula total de 266 alumnos. La desocupación laboral era de 8,5 %, principalmente mujeres. La actividad fundamental era la pecuaria, conjuntamente con la siembra de cultivos diversos a pequeña escala. En esta comunidad radica la unidad San Juan de Guacamaya, perteneciente a la Empresa de la Flora y la Fauna (EFF) de Artemisa, donde laboran 35 trabajadores residentes en la comunidad.

III. Resultados y discusión

Un PAC es el conjunto de etapas y acciones desarrolladas de manera coordinada y dirigidas a favorecer la educación ambiental de una comunidad, proceso este donde se involucran diferentes actores.

Las Pozas fue seleccionada para la realización del proyecto debido a las potencialidades históricas, humanas y medio ambientales con que cuenta, tales como la existencia de tradiciones y rica historia local; la presencia de escenarios naturales con valores patrimoniales para recrear el trabajo comunitario. Se tuvo en cuenta también la diversidad de actores; instituciones educativas y culturales; la riqueza de relaciones interpersonales; el sentido de pertenencia y expectativas cognitivas de sus pobladores; y la empatía con líderes comunitarios y facilitadores del proyecto.

Grupos meta:

Los grupos meta involucrados en el proyecto fueron estudiantes de la enseñanza primaria (80 alumnos de cuatro escuelas: Antonio Guiteras (escuela mixta); República de México; Juan Pedro Carbó Serviá; y Boris Luis Santa Coloma. Participaron además 20 estudiantes de Secundaria Básica; 10 artesanos; 10 hortelanos; dos médicos de la familia; 30 personas de la tercera edad y 20 religiosos (católicos y espiritistas); para un total de 172 beneficiarios directos, que irradiaron el conocimiento ambientalista y conservacionista a cerca de 3150 pobladores, entre familiares, amigos, compañeros de estudio y/o trabajo.

Diagnóstico:

Entre las necesidades diagnosticadas destacan el desconocimiento de la historia local y sus tradiciones, la ignorancia de valores botánicos patrimoniales, el desinterés por la flora y fauna local, el indiscriminado uso de elementos botánicos, la poca cultura ambiental comunitaria y la escasa sensibilidad comunitaria para la protección de los componentes del medioambiente. Además, se tuvieron presentes otros factores tales como, el insuficiente vínculo de las instituciones de la comunidad para mitigar o solucionar los problemas ambientales existentes, y el exiguu aprovechamiento de las potencialidades que posee la comunidad para contribuir a la educación ambiental.

Objetivo general del PAC: Favorecer la educación ambiental de los pozanos desde el JBN-UH.

Objetivos específicos y caracterización de los grupos meta:

Artesanos:

- Conocer sobre el uso y manejo de especies de la flora local empleadas en la elaboración de artículos artesanales.
- 2. Destacar las potencialidades de otras especies botánicas locales a emplear como materia prima para artesanías en sustitución de endémicos amenazados de extinción.
- 3. Acopiar información etnobotánica sobre especies botánicas de uso artesanal. Integrado por 10 mujeres, con edad promedio de 50 años, y dos recolectores, hombres y jubilados.

Estudiantes:

- Llamar la atención de los estudiantes acerca del conocimiento de la dimensión ambiental.
- Sensibilizarlos con la problemática ambiental local.
- Servir de apoyo a su educación formal, principalmente en las asignaturas de Ciencias Naturales y el Mundo en que vivimos.
- Trabajar en la formación de valores conservacionistas (grupo integrado por niños de cuarto a noveno grados de ambos sexos, y con una edad promedio de 10 años).

Las maestras y auxiliares pedagógicas fueron incorporadas al Grupo Ejecutor. Los círculos involucraron a 266 alumnos de primero a noveno grados y 26 docentes entre maestros y auxiliares pedagógicas. Se insertaron otros círculos de interés existentes en las escuelas, tales como: Plantas Medicinales, Pioneros (Figura 4).



Fig. 4. Dra. Ángela T. Leiva y el primer autor junto a niños de la comunidad Las Pozas (2013). Foto: J. Reinoso.

Grupo de la tercera edad:

- Promover acciones encaminadas al reconocimiento social de las personas de la tercera edad en función de la protección del medio ambiente.

- Relacionar adultos mayores con niños y jóvenes para propiciar la comunicación e intercambio de saberes e información relacionada con su herencia cultural.
- Motivar con temas de botánica, zoología y medio ambiente, a personas de la tercera edad, para sensibilizarlos por el amor a la vida.
- Ocupar el tiempo libre de personas con problemas psico-familiares en actividades educativas, recreativas y culturales. El grupo estuvo integrado por personas de la tercera edad, con una edad promedio de 70 años, de ambos sexos y con diferentes niveles culturales y educacionales.

Hortelanos:

- Conocer los principios de la permacultura.
- Orientar el uso de controles biológicos para erradicar plagas y enfermedades, y de fertilizantes orgánicos.
- Acopiar información etnobotánica relacionada con plantas comestibles y medicinales.
- Realizar inventarios de especies cultivadas en los huertos. Los hortelanos tienen una edad promedio de 60 años, unos son jubilados y otros aún tienen vínculo laboral y poseen conocimientos de agricultura tradicional. Con las cosechas abastecen a familiares y vecinos.

Médicos de la familia:

- Conocer acerca del uso de plantas medicinales en la medicina tradicional herbolaria.
- Destacar la existencia de plantas tóxicas y venenosas.
- Fomentar la creación de huertos de plantas medicinales en los consultorios para el uso de los pacientes.
- Mejorar el estado sanitario y los parámetros de salud comunitarios.

Existen dos consultorios y cada cuenta con un médico, una enfermera, que atienden a los 3150 pobladores; los consultorios tienen terrenos o jardines que permitieron el desarrollo de huertos de plantas medicinales.

Religiosos:

- Conocer sobre el significado, uso y manejo de las plantas en las religiones populares cubanas.
- Inventariar las especies utilizadas en rituales, parte útil y forma de uso. Integrado por hombres y mujeres con edad promedio de 65 años, jubilados o no, algunos practicantes activos (católicos y espiritistas).

Plan de acción. Entre las principales acciones realizadas destacan:

Creación del Aula de la Naturaleza: Espacio que constituye la sede del proyecto y lugar de reunión y desarrollo de actividades educativas (charlas, concursos, festivales y talleres). Para lograr esta acción, un local cedido

por el gobierno fue reparado y habilitado con mobiliario (30 taburetes y tres mesas), televisor y equipo de música (Figura 5).

Siembra de PP en la comunidad: En la época de fructificación (meses de julio-agosto-septiembre) fueron colectadas semillas de PP en la naturaleza y propagadas por jardineros especializados del JBN-UH, a partir de la experiencia del cultivo ex situ de PP, lo cual permitió escribir el instructivo técnico para el manejo de la especie (Colectivo Científico, 2006), además de otros estudios realizados (Pernús y Sánchez, 2017). Luego de tres años de cultivo, se trasladaron 325 ejemplares en camioneta hasta Las Pozas, y mediante una convocatoria popular, las personas interesadas en la conservación de esta palma las sembraron en los patios y jardines de sus casas, llevando algunos más de un ejemplar. En este sentido se pudo constatar la integración de la especie a jardines de plantas ornamentales (Figura 6) y al ecosistema agrícola (Figura 7), compartiendo el cultivo con otras plantas ornamentales, vegetales y frutales. También es usada como soporte para el cultivo de orquídeas epífitas.

Creación de microviveros: Dos de ellos (uno en la comunidad y otro en la unidad de San Juan de Guacamaya) fueron dedicados al cultivo de PP (alrededor de 6 000 posturas); y en el caso del segundo se sembraron además especies nativas propias de la flora local y frutales rústicos. También se incluyeron especies amenazadas de extinción, entre ellas daguilla (*Lagetta valenzuelana ssp. valenzuelana* A. Rich.) y manajú (*Garcinia aristata* (Griseb.) Borhidi) (Figura 8).

Atenciones culturales y siembra de la PP, forestales y frutales rústicos en la naturaleza: De manera sistemática los integrantes de la Brigada de Conservación de la unidad de San Juan de Guacamaya (10 trabajadores) hicieron ruedos y eliminaron lianas a los cerca de 550 ejemplares adultos y 798 juveniles, para un total de 1318 individuos de PP inventariados en las fincas Ahocinado, El Imposible, La Pedrera, Río Arriba, Río del Medio, Río Viejo y el Plan Tomás; así como reintrodujeron cerca de 6000 ejemplares para reforzar los efectivos demográficos de dichas poblaciones (Figura 9). Río Arriba, es una finca de 103 ha y está

ubicada a 1 km de la comunidad de Las Pozas, fue limitada y cercada, y en ella se plantaron alrededor de 3000 ejemplares de PP, también forestales y frutales con el fin de restaurar la vegetación natural (Martínez, 2023a, p. 76). Atesora además un discreto número de plantas adultas, juveniles y regeneración natural de PP, por lo cual se propuso al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) como Reserva Florística Manejada.



Fig. 6. Palma Petate cultivada en jardines junto a otras plantas ornamentales (2023). Foto: J.I. Martínez.



Fig. 5. Aula de la Naturaleza, Las Pozas (2013). Foto: J.I. Martínez.



Fig. 7. Palma Petate como parte del agroecosistema, Las Pozas (2023). Foto: J.I. Martínez.



Fig. 8. Vivero dedicado al cultivo de palma Petate, forestales y frutales rústicos, Las Pozas (2013). Foto: J.I. Martínez.



Fig. 9. Reintroducción de palma Petate en la naturaleza, finca Río Arriba, Las Pozas (2017). Foto: J.I. Martínez.

Trabajo de educación ambiental: Desde un inicio se trabajó con estudiantes, profesores y auxiliares pedagógicas de las cuatro escuelas asociadas al proyecto, mediante la creación de los círculos de interés Amigos de la Petate, en la realización de concursos, talleres, encuentros de conocimientos y charlas (Figura 10). Otras actividades involucraron a todos los integrantes de la comunidad en talleres temáticos (Figura 11), la celebración de efemérides ambientales, y del Festival de la Petate cada 5 de junio, Día Mundial del Medio Ambiente, así como la visita a instituciones científico-culturales-recreativas de la capital (jardín botánico, zoológicos, acuarios y museo de historia natural) (Martínez, 2023).

Uso artesanal de PP: Mediante el trabajo de educación ambiental se logró persuadir a artesanos locales a usar otras fibras naturales, en lugar de PP, en función del estado crítico de conservación de la especie. En este caso, se aconsejó usar la hoja joven (capullo) del guano espinoso (*Copernicia glabrescens*, H. Wendl. ex Becc.), otro endémico cubano no amenazado de extinción que crece en la zona. Como parte del manejo recolectan las hojas jóvenes o capullo, los secan al sol durante siete días, y conservan en un lugar seco y aireado, que luego emplean para tejer empleitas con las cuales cosen sombreros (para un sombrero se necesitan 16 m de empleita). También hacen bolsas y

otras artesanías (Ana Belkis Torres, comunicación personal, agosto de 2023). Los capullos son recolectados dos veces al mes para abastecer a las artesanas (Yaraldis González Díaz, comunicación personal, agosto de 2023) (Figura 12).

Aunque el proyecto finalizó en el 2015, fue posible darle seguimiento hasta el 2017, gracias a la voluntad de la dirección general del JBN-UH. Con la muerte de su principal promotora, la Dra. C. Ángela T. Leiva Sánchez (1948-2014)



Fig. 10. Charla matutina, escuela primaria Antonio Guiteras, Las Pozas (2005). Foto: J. Reinoso.



Fig. 11. Taller de sensibilización sobre la palma Petate, Joven Club de Bahía Honda (2005). Foto: J. Reinoso.



Fig. 12. Artesana y recolector, Las Pozas (2023). Foto: J.I. Martínez.

y debido a la pandemia covid-19 (2020-2021), se dejaron de hacer las casi mensuales visitas de trabajo a Las Pozas. Seis años después de la última de ellas (2017), una expedición realizada el 19 de agosto de 2023 permitió monitorear algunos de los resultados del plan de acción mencionados anteriormente y el estado actual de conservación de la PP, así como trazar planes futuros. El grupo de trabajo estuvo integrado por los doctores Eldis Bécquer Granados y Luis Roberto González Torres (botánicos del Grupo de Especialistas en Plantas Cubanas (GEPC), el M Sc. Julio I. Martínez (educador ambiental), Joel Reinoso y Arley Graverán Martínez (técnicos de la Brigada de Conservación, EFF), y el campesino Eduardo Ruíz Quiñones (Figura 13).

En un recorrido por las áreas naturales fue posible constatar el alto nivel de supervivencia de los ejemplares de PP reintroducidos en la naturaleza y la regeneración natural de la especie, a pesar de los ciclones, el fuego, este último en la época de seca (Figura 14) y la infestación de plantas invasoras, principalmente de marabú. De igual forma los especialistas de educación ambiental de la Unidad de San Juan de Guacamaya continúan trabajando con los estudiantes de las cuatro escuelas ya mencionadas.

Como parte de la visita fueron identificados productores locales con interés de desarrollar viveros para la conservación dedicados especialmente al cultivo de plantas nativas y amenazadas de extinción, con el propósito de continuar repoblando las áreas naturales, principalmente la finca Río Arriba.



Fig. 13. Colonia de palma Petate, finca Río Arriba, Las Pozas (2023).

Foto: J. Reinoso.



Fig. 14. Tronco de palma Petate con huellas de quemaduras por fuego en el tronco, finca Río del Medio, Las Pozas (2023). Foto: J.I. Martínez.

IV. Conclusiones

El PAC Salvemos a la Petate desarrollado en la comunidad Las Pozas del municipio artemiseño de Bahía Honda, entre los años 2005 y 2017, contribuyó a la generación de procesos de reflexión que condujo a aprendizajes significativos de personas, grupos sociales y la comunidad en general, al construir conocimientos, inducir actitudes, capacidades, hábitos y habilidades en la formación de valores, que propiciaron la adopción de nuevos estilos de vida y prácticas de consumo, compatibles con el desarrollo sostenible.

Las acciones de educación ambiental desarrolladas durante el PAC constituyeron motivación para la incorporación de nuevos actores y multiplicar el número de participantes, lo cual favoreció el fortalecimiento de la relación Jardín Botánico-Comunidad.

Recomendación

Los jardines botánicos deben ejecutar PAC orientados a contribuir a la promoción de modos de vida sanos y relaciones de convivencia armónicas entre las personas, como parte de una nueva concepción de las relaciones sociedad-naturaleza.

V. Referencias bibliográficas

- Berazaín, R. y J. Gutiérrez. (2016). Tesoros verdes: diversidad y endemismos de plantas en Cuba. En S. Fuentes y K. Grotz (Eds.). *Islas del Tesoro Verde. Descubrimientos botánicos en el Caribe*. Botanischer Garten & Botanischer Museum Berlin.
- Colectivo Científico (2006). Instructivo técnico para el manejo de la palma petate (*Coccothrinax crinita* ssp. *crinita* Becc.). Material de consulta, 2pp.
- González Torres, L.R., Palmarola, A., González Oliva, L., Bécquer, E.R., Testé, E. y Barrios, D. (Eds.) (2016). Lista roja de la flora de Cuba. La Habana: *Bissea No. 10*, 1-352.
- Hernández, N. (2016). El Jardín Botánico Nacional de Cuba en el pasado y el futuro. En S. Fuentes & K. Grotz (Eds.). *Islas del Tesoro Verde. Descubrimientos botánicos en el Caribe*. Botanischer Garten y Botanischer Museum Berlin.
- Leiva, A.T. (2008). Conservación de la Palma Petate (*Coccothrinax crinita* spp. *Crinita*) como recurso tradicional exclusivo de la comunidad de Las Pozas, Bahía Honda, Pinar del Río, Cuba. Programa de Pequeñas Donaciones, Fondo para el Medio Ambiente Mundial y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Material de consulta, 17pp.
- Martínez, J.I. y J. Miranda (2009-2010). Etnobotánica y educación para la conservación de *Coccothrinax crinita* subsp. *crinita*, Palma Petate (Arecaceae). *Revista del Jard. Bot. Nac. Univ. Habana, No. 30-31*, 91-95.
- Martínez, J.I. (2016). Conservación de la “palma petate” en el occidente de Cuba. *Bissea, No.10* (1), 56.
- Martínez, J.I. (2023). La educación ambiental desde los jardines botánicos: una necesidad social actual. *Orbita Científica, No. 122*, 29 enero-marzo. Recuperado de <https://revistas.ucpejv.edu.cu/>
- Martínez, J.I. (2023a). Proyectos comunitarios del Jardín Botánico Nacional como contribución al desarrollo local. *ECUCBA, No. 20* (10), 72-78. Recuperado de <https://dot.org/10.32870/ecucba.vi20.298/308/>
- Pérez, N.D., Polanco, G., Figueredo, L.M. y Castillo, D. (2022). Propuesta de palmas endémicas, nativas y/o amenaza-

das para su introducción en la jardinería de la ciudad de Santiago de Cuba, Cuba. *Foresta Veracruzana*, No. 1 (24), 15-26. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/497/4977-4123003/html/>

Pernús, M. y J.A. Sánchez. (2017). Germinación y dominancia de *Coccothrinax crinita* subsp. *crinita* (Arecaceae), palma endémica del Occidente de Cuba. *Revista del Jard. Bot. Nac. Univ. Habana*, No. 38, 49-56.

Pinares, A. (2004). Estudios para la conservación integrada de *Coccothrinax crinita* Becc. (Palma Petate). Tesis presentada en opción al grado científico de Máster en Biología Vegetal. Jardín Botánico Nacional, La Habana.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Julio Ismael Martínez Be-tancourt, conceptualización, curación de datos, investigación, metodología, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición; Joel Reinoso Triguero, curación de datos e investigación.

Recibido: 12 de septiembre de 2023

Aceptado: 2 de octubre de 2023