

# FINCA ESCUELA-PRODUCTIVA CON FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA EN EL MUNICIPIO DE PALMIRA

Por Dr. C. Enrique Arturo Padrón Padrón\*, M. Sc. Gustavo Crespo Sánchez\*\*,  
Dr. C. Julio Rafael Gómez Sarduy\*\*\* y M. Sc. Roy Reyes Calvo\*\*\*\*

Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba.

\* E-mail: apadron@ucf.edu.cu

<https://orcid.org/0000-0001-9644-0788>

\*\* E-mail: gcsanchez@ucf.edu.cu

<https://orcid.org/0000-0003-0850-197X>

\*\*\* E-mail: jgomez@ucf.edu.cu

<https://orcid.org/0000-0003-3313-6572>

\*\*\* E-mail: royrc@ucf.edu.cu

<https://orcid.org/0000-0002-7382-9878>

## Resumen

La finca escuela-productiva tiene como objetivo contribuir a la soberanía alimentaria del municipio mediante tecnologías que emplean fuentes renovables de energía, fomentando una cultura de buenas prácticas agroecológicas sostenibles, educación nutricional y sistemas de riego eficientes. El terreno tiene un organopónico con cubierta de malla para sombra y riego por microaspersión alimentado mediante bombeo solar fotovoltaico; una nave con tarima para la crianza de cabras; un área, de 0,5 hectáreas sembrada de plátanos, con riego por goteo alimentado mediante molino de viento; una nave para la ceba de cerdos; un área para tratamiento de residuales (biogás, tanque de compensación, fosa de sedimentación y tanque para fertirriego); una construcción civil de mampostería y cubierta ligera, de una sola agua, con inclinación de 17° que permite colocar paneles solares fotovoltaicos para alimentar el sistema de riego del organopónico. Los sistemas de riego y las fuentes de abasto fueron cuidadosamente diseñados, resultando una metodología a impartirse en cursos. El área techada contará con un aula docente rústica, sin paredes, con jardinería alta alrededor; área de lavado y selección de vegetales; expendedor; área inocua para la elaboración de quesos; almacén para los aperos de labranza y un baño. Considerando los ingresos en la parte productiva, la inversión se recupera en tres años.

*Palabras clave: fuentes renovables de energía, sistemas de riego.*

---

## SCHOOL-PRODUCTIVE FARM WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES IN PALMIRA MUNICIPALITY

### Abstract

The productive school farm aims to contribute to food sovereignty in the municipality through technologies that use renewable energy sources, promoting a culture of good sustainable agroecological practices, nutritional education and efficient irrigation systems. The land has an organoponic with a mesh cover for shade and micro-sprinkler irrigation fed by photovoltaic solar

pumping; a shed with a pallet for raising goats; an area of 0.5 hectares planted with bananas, with drip irrigation fed by a windmill; a shed for fattening pigs; an area for waste treatment (biogas); an area for wastewater treatment (biogas); an area for the treatment of wastewater (biogas); and an area for the treatment of wastewater (biogas, compensation tank, sedimentation pit and fertigation tank); a civil construction of masonry and light, single-water roof, with a 17° slope that allows for the installation of photovoltaic solar panels to power the organoponic irrigation system. The irrigation systems and water sources were carefully designed, resulting in a methodology to be taught in courses. The roofed area will have a rustic classroom, without walls, with high landscaping around it; a vegetable washing and selection area; a vending machine; a safe area for cheese production; a storage area for farm implements; and a restroom. Considering the income in the productive part, the investment is recovered in three years. and an electricity generation capacity of 118.66 kWh per day. The economic evaluation has a long Investment Recovery Period (IRP), close to 15 years out of a useful life of 25 years, and a low Net Present Value (NPV) given that Resolution No. 435/2017 establishes the cost of the KWh, sold by

**Keywords:** renewable energy sources, irrigation systems.

## I. Introducción

El estudio propone el uso de la finca como laboratorio adjunto al Centro Universitario Municipal (CUM) donde su aula docente e instalaciones sirvan de escenario para talleres, entrenamientos, círculos de interés y trabajos de carácter científico con el objetivo de:

- Fomentar una cultura energética ambiental y sostenible en la comunidad.
- Generar conocimientos para perfeccionar los sistemas de producción, que contribuyan a la seguridad alimentaria y a la mitigación y adaptación al cambio climático, con un enfoque interdisciplinario, sobre la base de los principios de la agroecología.
- Fortalecer las capacidades de los talentos humanos internos y externos para mejorar la gestión institucional y de los actores relevantes del entorno.
- Fortalecer los vínculos con el sector agrario y otros sectores clave, para contribuir a la diseminación de los resultados de la ciencia y la innovación que potencien el desarrollo sostenible.
- Realizar asesorías energéticas en donde esten emplazados sistemas de riego estatales y privados del sector agrario.

El propósito planteado tributa a 17 de los 55 objetivos estratégicos del municipio, responde a varias líneas prioritarias para el desarrollo territorial de la provincia y el país, así como a la resolución 71/313 de la Asamblea General de la ONU, de julio del 2017, en relación a la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

### Objetivos:

1. Desarrollar la producción de alimentos de ciclo corto, contribuyendo a la soberanía alimentaria saludable y ecológica de los pobladores del entorno.
2. Construir una finca escuela-productiva que sirva como medio de enseñanza de buenas prácticas agroecológicas sostenibles.

3. Implementar sistemas de riego eficientes y sostenibles, adecuados a cada tipo de cultivo.
4. Utilizar tecnologías para el uso eficiente de las fuentes renovables de energía.
5. Potenciar la crianza de cabras en tarima con base, permitiendo un adecuado manejo animal y depósito de residuales del organopónico.
6. Capacitar a los diferentes actores de las Cooperativas de Créditos y Servicios (CCS) y a estudiantes de todas las enseñanzas del municipio Palmira, en temas relacionados con la agroecología, el medioambiente, las fuentes renovables de energía, la alimentación sana y la preservación del agua y los suelos.

## II. Materiales y métodos

En la Figura 1 se presenta una vista panorámica del área tomada como polígono de enseñanza, mostrándose la ubicación de cada objeto de obra.



Fig. 1. Ubicación de los diferentes objetos de obra.

Tecnologías constructivas:

### Organopónico

- Cerca perimetral ecológica: De 284 m de dimensión, construida con alambre y púas, revestida con plantas

de buganvilla (protege del vandalismo y embellece el entorno suburbano donde se encuentra).

- Canteros: Dimensiones de 30 m de largo por 1,20 de ancho, con separación de 50 cm entre canteros, y una entrada central de 4 m para permitir la circulación de vehículos pesados.
- Área semitapada: Área con malla sombra a 60 %, dimensiones de 30 m de largo por 6 de ancho, monofilamento de alta densidad y suspendida con horcones de madera entrelazados con alambrión, de 5 mm de diámetro a una altura de 2,5 m, lo que permite sembrar semilleros de hortalizas y vegetales en distintos meses del año.
- Sistema de riego: Con microaspersores o difusores de un radio de alcance de 0,6 m a una presión de (1÷2) bar, conectados en serie en cada cantero que estarán separados a 90 cm, cada cantero necesita 34 difusores, los que serán alimentados desde una manguera central de 3/4", la que puede estar sobre el cantero o levantada, en dependencia del tipo de cultivo sembrado, una válvula de paso 3/4" gobernará la irrigación de cada cantero. Una línea central con manguera de 63 mm alimenta todas las entradas de los canteros, 32 collarines con salidas de 19 mm (3/4"). La Figura 2 presenta un esquema de la instalación del sistema de riego en el organopónico.

#### Pozo artesiano

Con una dimensión de 6" de diámetro y 12 m de profundidad, estará colocado en el centro izquierdo del organopónico para facilitar la distribución del agua, disminuyendo las pérdidas sin entorpecer el tránsito.

#### Sistema fotovoltaico para el bombeo de agua

Los paneles fotovoltaicos estarán colocados sobre la construcción civil, de cubierta ligera de una sola agua, con una inclinación de 17°, orientados hacia el sur, en ubicación centrada y donde no se recibe sombra a ninguna hora del día. Dieciséis paneles de 280 Wp cada uno, para una potencia total instalada de 4,48 kWp, sobre un área de 10,4 m<sup>2</sup> de los 56 m<sup>2</sup> que tiene el techo.

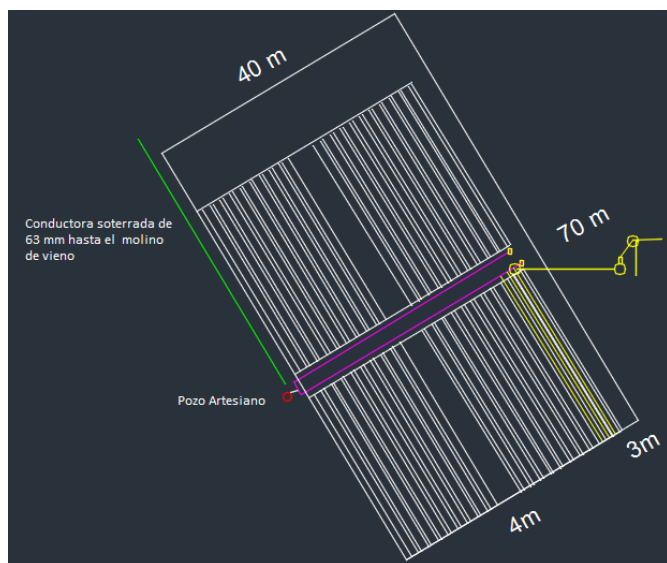


Fig. 2. Diseño del sistema de riego por microaspersores para el organopónico.

En el mercado existe una amplia gama de microaspersores y difusores, los utilizados en los organopónicos son de bajo flujo (20 ÷ 40 L/h). Para los cálculos de la bomba se utilizaron microaspersores de un flujo de 25,2 L/h, a una presión de 1 bar, resultado de las mediciones realizadas en el organopónico T-15, de referencia en la provincia.

Atendiendo a los requerimientos anteriores, calculando las pérdidas de presión en el sistema, teniendo en cuenta que el espejo de agua dinámico en el pozo está a una profundidad de 10 m y dividiendo el riego en dos secciones; la bomba sumergible para abastecer el organopónico debe operar con carga (H) 40 m y flujo (Q) de 14 m<sup>3</sup>/h, para realizar un riego promedio de tres horas por día, de acuerdo con la irradiación solar de la zona.

$$Q = (25,2 \text{ L/h} \times 34 \text{ microaspersores/cantero} \times 32 \text{ canteros}) / 2 \text{ áreas}$$

La bomba sumergible, Lorentz PS2-4000 C-SJ17-4 (Hmax-45m; Qmax-26 m<sup>3</sup>/h) con una potencia de 2,5 kW, cumple con los requerimientos de operación. Se observan las características de salida en la Figura 3.

#### Construcción civil de cubierta ligera

Cubierta de zinc y paredes de mampostería, de una sola agua, con inclinación de 17°, donde se ubicarán el aula docente rústica, sin paredes con jardinería alta alrededor; el área de lavado y selección de vegetales, expendedor, área inocua para la elaboración de quesos, almacén para los aperos de labranza y baño (Figura 4). Sobre el techo ligero se colocarán los paneles solares fotovoltaicos y el calentador de agua de 90 L.

#### Nave para la crianza de cabras en tarima

Se acondicionará una nave de 120 m<sup>2</sup>, con tarimas, comederos, área de ordeño y la parte superior de la cerca que limitan los cuarterones. Las tarimas serán de madera, con tablas de 10 cm separadas a 2 cm entre ellas y a una altura de 80 cm del piso de cemento, que actualmente tiene la nave, permitiendo la limpieza con los instrumentos apropiados.

Los bebederos de los cuarterones son alimentados desde un tanque elevado de 2 000 L con flotantes para regular los niveles. El agua para la nave es suministrada desde un molino a viento y como respaldo actúa el bombeo fotovoltaico.

#### Nave para la crianza y ceba de cerdos

Es una construcción civil, fabricada hace 14 años, con condiciones para la crianza y ceba de 60 cerdos. La infraestructura incluye tanques para almacenamiento de comida líquida, fogón de leña eficiente y 0,45 ha para la siembra de comida animal (maíz y yuca).

#### Sistema de riego por goteo con molino a viento

- Sistema de riego: Área de 0,5 ha sembrada de plátanos. Las dimensiones son 125 m por 40, sembrados en disposición extradenso, dos surcos a 2 m y luego una calle de 3 m, en el narigón cada planta separada entre 1 y 1,25 m, una manguera de 12 mm, como lateral por cada surco, con goteros a 0,6 metros de distancia (goteros Dripnet PC 12 mm en hilera, de 1,6 L/h, 0,60 m) formando una franja húmeda (Carbonell, 2017).

- Una manguera maestra, de 63 mm y longitud de 125 m, alimenta a todos los laterales divididos en dos secciones de riego. Para los cálculos del sistema de riego, se analizaron las necesidades hídricas del plátano (Criollo, 2021) y las características del suelo.
- Molino a viento: A partir de los requerimientos del sistema de riego por goteo en 0,5 ha de plátano, se seleccionó el molino de viento modelo Brisas de la Marca Fiasa, con los datos técnicos siguientes: Rotor 10 pies, flujo 3 150 L/h a la velocidad del viento de 4,5 m/s y trabajando en promedio de 11 h al día; lo cual en periodo de sequía es plenamente factible (Figura 4) y dará un promedio de 10 L por día de agua para cada planta. El émbolo tiene un diámetro de 4" y la torre 10 m de altura.

La metodología empleada para los cálculos del sistema de riego por goteo, así como para la selección del molino de viento adecuado son contenidos a impartir en los cursos para los decisores del sector agropecuario.

*Conductora soterrada*

Cuenta con 150 m de longitud, manguera de polietileno, de 63 mm, soterrada a una profundidad de 60 cm entre el punto de abasto de agua y el sistema de riego del organopónico. El punto de abasto de agua del sistema de riego por goteo en el área de plátanos, permite complementar las dos fuentes renovables de energía, la solar y la eólica. De esta forma se atenúa en gran medida el efecto aleatorio que presentan cada una de ellas.

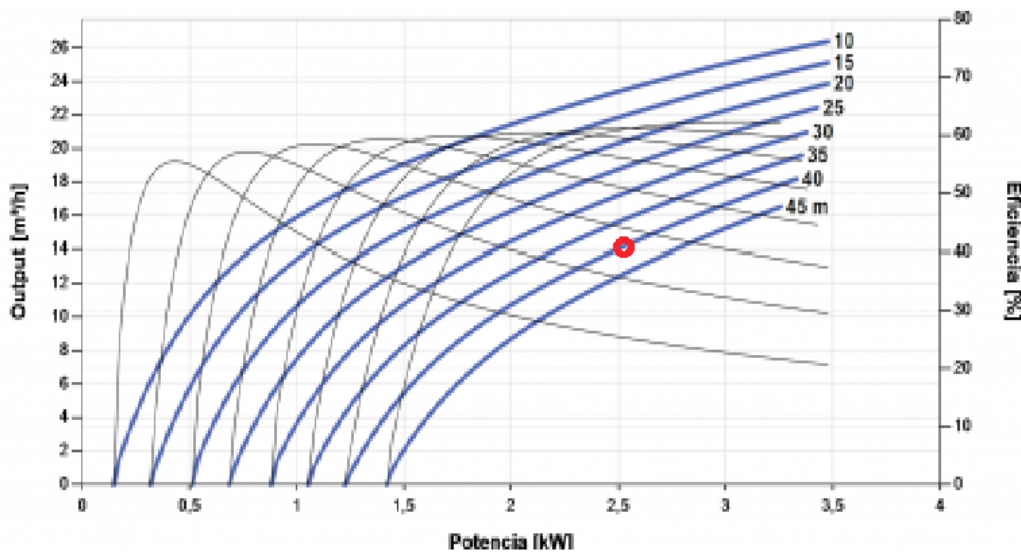


Fig. 3. Característica de salida Bomba sumergible Lorentz PS2-4000 C-SJ17-4 (Hmax-45m; Qmax-26 m³/h). Fuente: Catálogo del fabricante Lorentz.

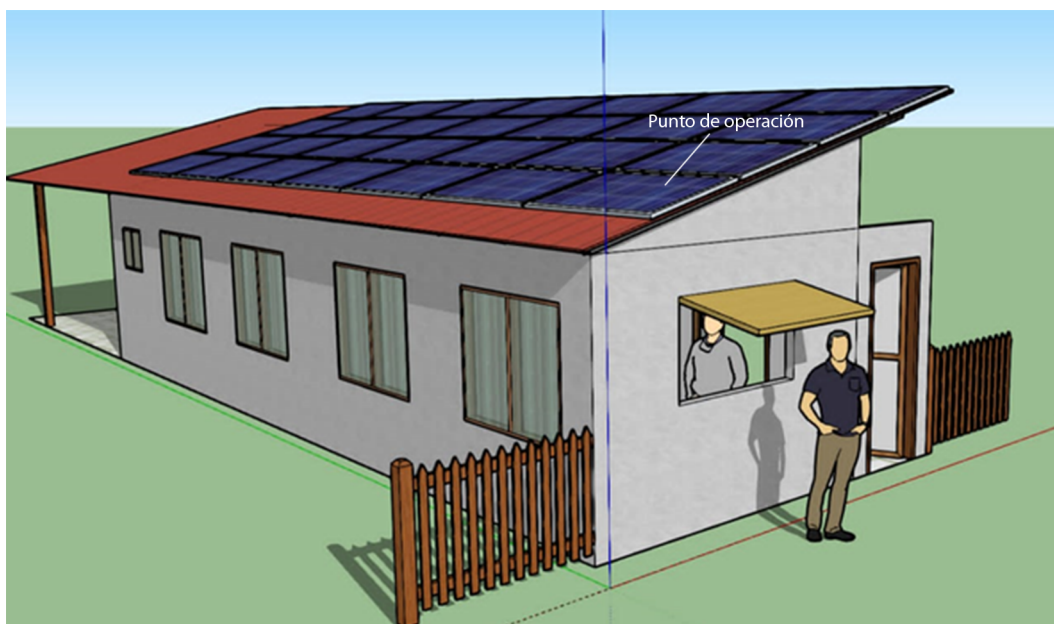


Fig. 4. Construcción civil multipropósito.



**Biogás y tratamiento de residuales**

El diseño del biogás es del tipo cúpula fija, con alimentación continua, donde el tanque de compensación descarga por rebozo en una fosa de sedimentación y esta a su vez, en un tanque para fertirriego. Con la nave de cabras a plena capacidad y la de cerdos al 33% se pueden generar 12 m<sup>3</sup> por día de biogás.

**III. Resultados y discusión**

Entre los objetivos fundamentales del proyecto está fomentar una cultura de buenas prácticas agroecológicas sostenibles, fuentes renovables de energía, eficiencia energética y uso racional del agua, por lo tanto, es de suma importancia que toda el agua del riego esté sobre canteros sembrados, cero salideros y que los microaspersores tengan un radio de alcance 0,6 m para cubrir el ancho exacto del cantero (1,2 m). Puede ser un difusor de franja, que transversalmente cubra 1,2 m y longitudinalmente varios metros, en tal caso, cada cantero llevaría menos difusores o microaspersores.

El sistema de riego por goteo, empleado en el área con siembra de plátano extradenso, es alimentado con energía eólica a través de un molino de viento multipala y cuenta con un reservorio de 2 000 L a una altura de 9 m, para garantizar el suministro de los laterales de 40 m de longitud.

Está en proyecto construir una nave de madera, sin paredes y con cubierta de guano, para la producción de humus de lombriz y compost, con el objetivo de aportar bioabono para el organopónico.

**IV. Conclusiones**

Los seis objetos de obras son viables ecológicamente por no generar emisiones a la atmósfera ni verter residuales, la propuesta es encadenar todos los residuales de tal forma que cierren un ciclo (Figura 5).

A pesar de ser la inversión, que concierne a la parte educativa, considerable y sin entrada financiera, los demás objetos de obra compensan económicamente el proyecto (Figura 6), comportándose el periodo de amortización como muestra la Tabla 1.

Tabla 1. Periodo de amortización

Objetos de obra	Periodo de recuperación (meses)	TIR (%)
Organopónico	41	20
Plátano con riego por goteo con molino de viento	25	27
Crianza de cabras en tarima	62	12
Crianza y ceba de cerdos	39	22
Biogás	25	39
Total del proyecto	41	21

Se dejan de emitir a la atmósfera 8,18 t al año de CO<sub>2</sub>, al ahorrar 4 895 kWh al año de energía eléctrica a partir de la sustitución de un sistema ineficiente de irrigación por aniego a través de bombeo SFV, y por la cocción con biogás en tres viviendas.

Se producirán 12 480 kg de hortalizas y vegetales frescos de primera calidad.

A partir del tercer año de explotación, la nave con cabras en tarima producirá anualmente 7 300 L de leche, 365 kg de queso y 1 000 kg de carne ovina.

En el área de riego por goteo, considerando modestos rendimientos, se obtendrán anualmente 12,9 t de plátano vianda, 13,5 t de plátano fruta y 17,2 t de plátano burro.

Con la excreta de 100 cabras y 20 cerdos, se producen 12 m<sup>3</sup> por día y 51 100 kg al año de abono orgánico.

Con el proyecto se generan seis nuevos puestos de trabajo bien remunerados, dos mujeres, dos jóvenes y dos jubilados recontractados con experiencia en la agricultura.

Las actividades educativas para afiliados de las CCS y estudiantes de los diferentes niveles de enseñanza del municipio, fomentarán una cultura sobre tecnologías para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, uso eficiente del agua, eficiencia energética, buenas prácticas agroecológicas sostenibles y educación nutricional.

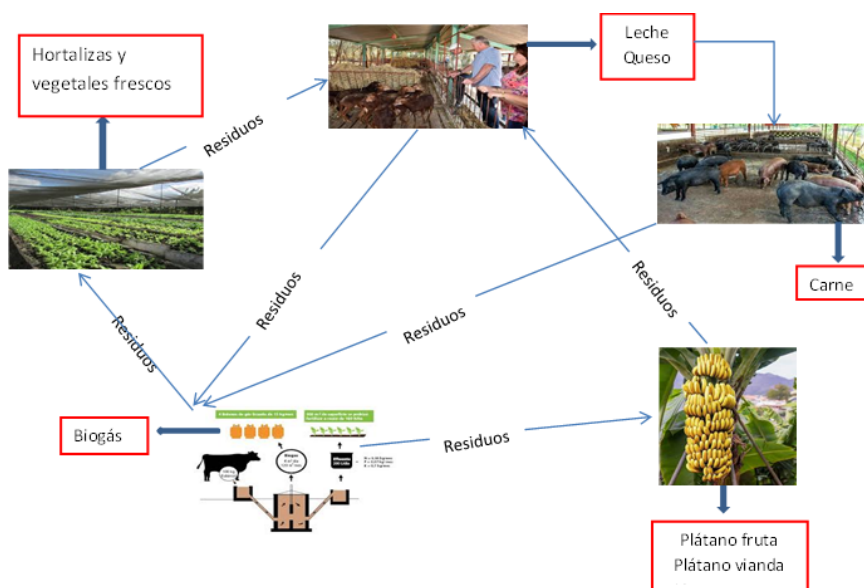


Fig. 5. Economía circular. Aprovechamiento de 100 % de los residuos.

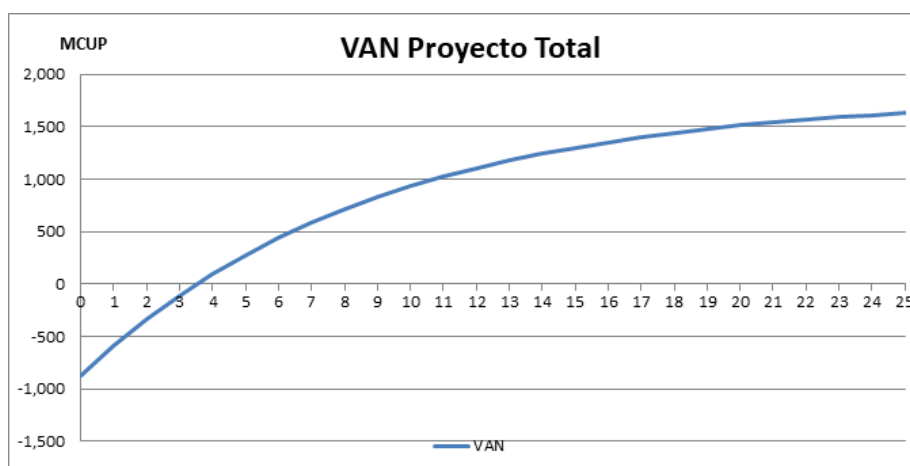


Fig. 6. Comportamiento del VAN en el proyecto.

## V. Referencias bibliográficas

- Barbero, A. J., (2012). Energía Eólica-UCLM. [https://previa.uclm.es/profesorado/ajbarbero/FAA/EEOLICA\\_Febrero2012\\_G9.pdf](https://previa.uclm.es/profesorado/ajbarbero/FAA/EEOLICA_Febrero2012_G9.pdf) (no existe el link)
- Carbonell Saavedra, E. (2017). *Evaluación del sistema de riego por goteo en tomate (Solanum lycopersicum L.) en casas de cultivos*. [Tesis de Doctorado, Universidad Universidad Central de Las Villas]. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Villa Clara.
- HF Altos caudales. *Electrobombas centrífugas* [Manual] (consultado: 12 de marzo de 2021). [http://www.pedrollo.com/public/allegati/HF%20Medie%20oportate\\_ES\\_60Hz.pdf](http://www.pedrollo.com/public/allegati/HF%20Medie%20oportate_ES_60Hz.pdf)
- Cengel, C., y Mecánica, D. (2006). *Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones*. (Fuente)
- Crespo, C. M. (2002). *Mecánica de los fluidos*. Universidad Politécnica de Madrid, Servicio de Publicaciones.
- Criollo Tupiza, L. F. (2021). *Diseño del sistema de riego por aspersión y sistema de drenaje de la cancha principal de la Liga Parroquial Zámbriza, cantón Quito, provincia de Pichincha* [Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, Universidad Central de Ecuador]. Repositorio Institucional – Universidad Central de Ecuador, Quito.
- De las Heras, S. (2019). *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politécnica. (Fuente)
- Escuela de Posgrado - Universidad Nacional Agraria La Molina (Epg-UNALM) (2009). *Mecanismos para el aprovechamiento eólico: las máquinas eólicas*. <https://www.monografias.com/trabajos-pdf2/mecanismos-aprovechamiento-eolico-maquinas/mecanismos-aprovechamiento-eolico-maquinas2.shtml>
- Gálvez Román, R. (2005). *Diseño y cálculo preliminar de la torre de un aerogenerador* [Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid]. <https://docplayer.es/17943741-Diseno-y-calculo-preliminar-de-la-torre-de-un-aerogenerador.html>
- García Marín, E. (2019). *Tema 01 Energías Renovables*. En: Studocu. <https://www.studocu.com/es/document/universitat-de-valencia/gestion-energetica-energias-renovables/apuntes/tema-01-energias-renovables/2444836/view>
- Lodoño, A. (2019). *Diseño de un sistema de riego en la granja Tarapacá ubicada en la ciudad de Santiago de Cali* [Tesis de di-
- ploma, Universidad Autónoma de Occidente]. Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali.
- Mendoza Balderrama, J. C., y Bermúdez Valdez, J. M. (2015). *Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por microaspersión en café (Coffea Arábica L.) en la ESPAM MFL* [Tesis de pregrado, ESPAM]. ESPAM, Manabí.
- Mendoza Vera, M. I., y Rodríguez Zambrano, W. (2012). *Evaluación post-implementación de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de cacao (theobroma cacao L.) en la ESPAM-MFL* [Tesis de pregrado, ESPAM]. ESPAM, Manabí.
- Modon, A. (2017). *Teoría de mecánica de los fluidos apuntes*. Universidad Nacional de Cuyo. <http://ingenieria.uncuyo.edu.ar/catedras/apuntes-teoricos-de-mecanica-delos-fluidos-rev9-doc-prot.pdf>.
- Tarjuelo J. M. (2002). *Agronomía del riego. La aplicación del agua con el riego y su evaluación*. Departamento de Producción Vegetal y Tecnología Agraria. Universidad de Castilla – La Mancha. Ediciones Mundi – Prensa, Madrid, España.

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

**Contribución de los autores:** Enrique Arturo Padrón Padrón, conceptualización, curación de datos, investigación y supervisión; Gustavo Crespo Sánchez, análisis formal, supervisión y redacción-borrador original; Julio Rafael Gómez Sarduy, curación de datos, análisis formal e investigación; y Roy Reyes Calvo, redacción-revisión, edición. .

Recibido: 1 de agosto de 2022

Aceptado: 25 de agosto de 2022