

Evaluación de Factibilidad en un Inversor Híbrido en Aireadores de Piscinas Acuícolas**Feasibility Study of a Hybrid Inverter for Aquaculture Pool Aerators**

*Alfonso Gunsha-Morales, Miguel Orozco-Campaz, Carlos David Amaya-Jaramillo, Rogger José Andrade-Cedeño
& Paola Proaño Molina*

**CIENCIA, TECNOLOGÍA Y
SOCIEDAD****Julio - diciembre, V°7 - N°2; 2026****Recibido:** 07-07-2026**Aceptado:** 10-07-2026**Publicado:** 13-07-2026**PAIS**

- Ecuador, Quevedo
- Ecuador, Quito
- Ecuador, Calceta
- Ecuador, Calceta
- Ecuador, Quito

INSTITUCION

- Universidad Técnica Estatal de Quevedo
- Universidad Politécnica Salesiana
- Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López
- Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López
- Universidad Central del Ecuador

CORREO:

- ✉ agunsham@uteq.edu.ec
- ✉ morozcoc2@est.ups.edu.ec
- ✉ carlos.amaya@espam.edu.ec
- ✉ rjandrade@espam.edu.ec
- ✉ pmproanom@uce.edu.ec

ORCID:

-  <https://orcid.org/0000-0002-1485-1522>
-  <https://orcid.org/0009-0006-1313-1060>
-  <https://orcid.org/0000-0002-6216-5711>
-  <https://orcid.org/0000-0002-5280-4575>
-  <https://orcid.org/0000-0001-9201-5768>

FORMATO DE CITA APA.

Gunsha-Morales, A., Orozco-Campaz, M., Amaya-Jaramillo, C., Andrade-Cedeño, R. & Proaño, P. (2026). Evaluación de Factibilidad en un Inversor Híbrido en Aireadores de Piscinas Acuícolas. *Revista G-ner@ndo*, V°7 (N°2). Pág. 635 – 656.

Resumen

Para los sistemas de aireación acuícola la continuidad del suministro eléctrico es importante, ya que cualquier interrupción del servicio agota el oxígeno del agua y destruye la biomasa cultivada. Este estudio analizó si era técnica y económicamente viable implementar un inversor híbrido para respaldar los aireadores de las piscinas en el campus La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. El análisis cuantitativo partió de medir el consumo real de energía, diseñar la estructura fotovoltaica híbrida y proyectar su comportamiento mediante simulaciones en HOMER 3.15.3 Pro y MATLAB/Simulink R2022a. Los datos mostraron una demanda promedio de 24,07 kWh/día y confirmaron que el sistema puede sostener la operación con un 53,8% de energía renovable, lo que reduce la carga sobre la red comercial. Aunque los números financieros indican que la inversión no genera rentabilidad bajo las variables evaluadas, la propuesta blinda la operación de los equipos y ofrece una solución real para zonas de cultivo donde no se pueden permitir fallas de luz.

Palabras clave: factibilidad, inversor híbrido, sistemas fotovoltaicos.

Abstract

For aquaculture aeration systems, an uninterrupted power supply is crucial, as any power outage depletes the oxygen in the water and destroys the cultivated biomass. This study analyzed whether it was technically and economically feasible to implement a hybrid inverter to back up the aerators in the ponds at the La María campus of the Quevedo State Technical University. The quantitative analysis began by measuring actual energy consumption, designing the hybrid photovoltaic system, and projecting its performance using simulations in HOMER Pro 3.15.3 and MATLAB/Simulink R2022a. The data showed an average demand of 24.07 kWh/day and confirmed that the system can sustain operations with 53.8% renewable energy, thereby reducing the load on the commercial grid. Although the financial figures indicate that the investment is not profitable under the evaluated variables, the proposal safeguards equipment operation and offers a practical solution for cultivation areas where power outages cannot be tolerated.

Keywords: Feasibility, Hybrid inverter, Photovoltaic systems.

Introducción

En la acuicultura un corte de luz es sinónimo de desastre (Boyd et al., 2018; Fikriyadi et al., 2025; Nguyen et al., 2021). Los aireadores de las piscinas no pueden detenerse; si se apagan, el oxígeno desaparece y las especies mueren en cuestión de horas, destruyendo la inversión de meses de trabajo (Boyd et al., 2018; Imani et al., 2023a). Depender únicamente de la red eléctrica convencional es un riesgo demasiado alto para la estabilidad en la acuicultura (Dworak et al., 2023; Muzammal Islam et al., 2024; Stanković et al., 2023). Ahí es donde entran las energías renovables, no como una moda verde, sino como un respaldo estratégico y urgente para garantizar que los sistemas sigan funcionando pase lo que pase (Fikriyadi et al., 2025; Imani et al., 2023b; Nguyen & Matsushashi, 2019)

La investigación sobre el uso de energía fotovoltaica en sistemas de aireación para la acuicultura ha evolucionado desde aplicaciones solares aisladas, destinadas a incrementar el oxígeno disuelto en estanques ubicados en zonas sin acceso a la red eléctrica, hacia configuraciones híbridas que integran baterías, conexión a la red y sistemas de control inteligente. Este cambio hace que las nuevas propuestas no solo busquen garantizar la aireación, sino también asegurar la continuidad operativa y reducir la huella de carbono. En los primeros sistemas flotantes, la generación fotovoltaica demostró su capacidad para elevar la concentración de oxígeno disuelto de 3,0–3,9 a 4,1–4,8 mg/L en estanques de peces localizados en áreas remotas (Pratama, 2021).

Por otro lado, a partir de 2019 el interés de las investigaciones se orientó hacia el diseño de sistemas optimizados para granjas camaroneras intensivas, donde la aireación representa una de las principales demandas de energía y la variabilidad del recurso solar hace que sea necesario incorporar almacenamiento, fuentes de respaldo o esquemas híbridos de generación (Jamroen et al., 2023; Nguyen & Matsushashi, 2019). De hecho los

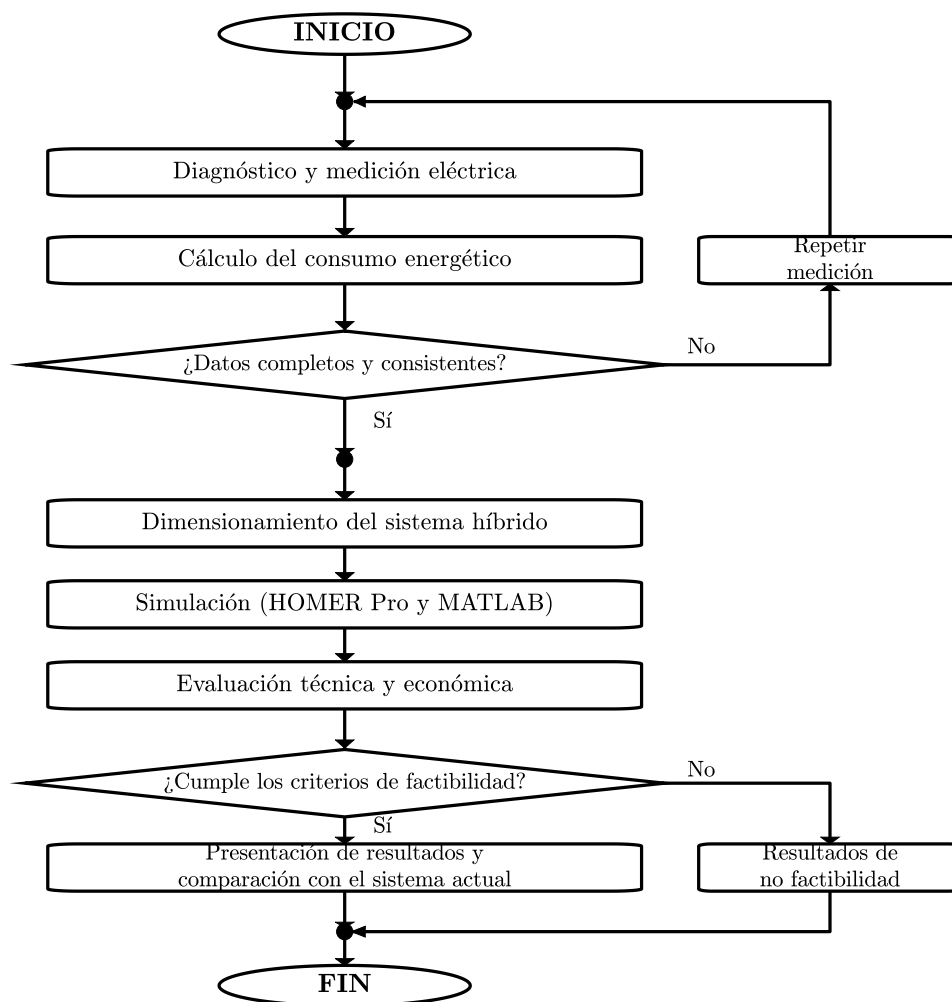
estudios de optimización muestran que las configuraciones PV/eólica/batería para sistemas aislados y PV/eólica/red para sistemas conectados mejoran el desempeño técnico, reducen el costo del ciclo de vida y disminuyen las emisiones en comparación con la aireación mecánica convencional alimentada únicamente por la red eléctrica (Nguyen et al., 2021).

En el campus La María de la UTEQ, los aireadores de las piscinas acuícolas no pueden dejar de funcionar; de ellos dependen el funcionamiento y la supervivencia de la biota acuática. El problema es que la crisis energética y los apagones masivos en Ecuador en los últimos años, golpearon directamente al campus. Al no contar con ninguna fuente de respaldo, los cortes prolongados dejan a las piscinas sin oxígeno, lo que pone en riesgo los cultivos y deja congelados los experimentos académicos de los estudiantes y la producción misma. Depender únicamente de la red pública se volvió un peligro para el área. Aunque la zona tiene muy buen potencial para aprovechar la energía solar (Murillo Limones et al., 2018), todavía no hay un sistema híbrido que combine paneles fotovoltaicos, baterías y un control inteligente para los apagones.

El objetivo de este estudio es evaluar si resulta técnica y económicamente viable instalar un inversor híbrido para alimentar los aireadores de las piscinas acuícolas del campus La María, en la UTEQ. Para lograrlo, se hará una comparación entre el sistema tradicional que depende de la red pública y una propuesta de respaldo con energía solar.

Métodos y Materiales

La investigación se desarrolló en las piscinas de acuicultura del campus La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. Este trabajo cuantitativo y transversal evaluó la viabilidad técnica y financiera de usar un sistema fotovoltaico híbrido como energía de respaldo para los aireadores de los cultivos, a continuación, se presenta la metodología propuesta.

Figura 1. Metodología propuesta

Como se presenta en la metodología, se inició con el diagnóstico de los equipos actuales para conocer su demanda eléctrica real. Se midieron dos motores de 2 HP WEG 115/230V el cual consta de un blower y un motor de paletas, utilizando una pinza amperimétrica Peak Meter MS2203 y un multímetro de medición. Esto permitió documentar la tensión, la corriente y la potencia mientras operaban con normalidad.

Posteriormente se determinó el gasto de energía diario multiplicando las horas de uso por el consumo medido en las piscinas. Esos valores marcaron la pauta para diseñar el respaldo fotovoltaico: se calcularon las horas de sol, la cantidad de paneles, la capacidad de las baterías y el tipo de inversor que mejor respondiera al clima de la zona. Los datos de

radiación solar se extrajeron de bases de datos meteorológicas para conocer el potencial energético del lugar.

La evaluación del sistema propuesto se apoyó en los simuladores HOMER Pro 3.15.3 y MATLAB/Simulink R2022a. El primero comparó configuraciones para calcular la producción de energía, el costo operativo y el valor presente neto durante la vida útil del proyecto. MATLAB/Simulink R2022a, en cambio, modeló el comportamiento eléctrico del inversor para observar los cambios en la tensión, la corriente y la velocidad del motor bajo distintas cargas

Análisis de resultados

Fase 1. Diagnóstico energético del sistema actual

Las mediciones técnicas en los sistemas de aireación definieron el gasto eléctrico diario de los dos equipos instalados en las piscinas de acuicultura del campus La María. El aireador tipo Blower consume un promedio de 10,18 kWh/día, mientras que el de paleta consume 13,88 kWh/día, sumando un total de 24,06 kWh/día, como se presenta en la Tabla 1. Estos datos indican que el modelo de paletas exige la mayor cantidad de energía, ya que representa alrededor del 58 % de la demanda de toda la instalación.

Tabla 1. *Promedio de consumo diario de energía*

Tipo de aireador	Consumo promedio diario (kWh)
Blower	10,18
Paleta	13,88

Los datos acumulados en la evaluación confirman que el consumo diario del sistema de aireación cambió muy poco, manteniéndose entre 23,53 y 24,65 kWh/día, tal como se presenta en la Tabla 2. Esta regularidad demuestra que los aireadores operaron casi sin

variaciones durante todo el periodo analizado. Al ser un comportamiento tan predecible, estas cifras son una base realista para diseñar el sistema de respaldo eléctrico que se necesita.

Si miramos el consumo por separado, el aireador de paleta siempre gastó más energía que el soplador o Blower. El modelo de paleta consumió entre 13,7 y 14,2 kWh/día, mientras que el Blower se mantuvo entre 9,8 y 10,5 kWh/día, como se presenta en la Tabla 2. Esta brecha deja claro que el aireador de paletas es el que consume la mayor parte de la electricidad y, por lo tanto, el responsable directo del gasto diario total.

Tabla 2. *Consumo y Funcionamiento Diario de Energía por Tipo de Aireador*

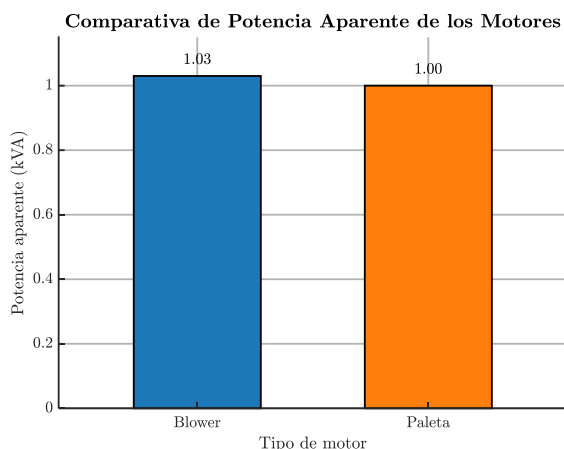
Fecha	Consumo Diario de Energía			Funcionamiento de los aireadores				
	kWh Blower	kWh Paleta	Energía Total (kWh)	Hora Inicio	Hora Fin	Blower	Paleta	Comentario
25-05-21	10.33	13.93	24.27	18:00:00	18:45:00	ON	OFF	Blower encendido
25-05-22	9.89	13.70	23.59	18:45:00	19:45:00	OFF	ON	Paleta encendido
25-05-23	10.50	13.98	24.48	19:45:00	20:30:00	ON	OFF	Blower encendido
25-05-26	10.17	13.85	24.03	20:30:00	21:30:00	OFF	ON	Paleta encendido
25-05-27	9.85	13.68	23.53	21:30:00	22:15:00	ON	OFF	Blower encendido
25-05-28	10.18	13.98	24.16	22:15:00	23:15:00	OFF	ON	Paleta encendido
25-05-29	10.50	14.02	24.52	23:15:00	00:00:00	ON	OFF	Blower encendido
25-05-30	10.04	13.94	23.98	00:00:00	01:00:00	OFF	ON	Paleta encendido
25-06-02	10.45	14.20	24.65	01:00:00	01:45:00	ON	OFF	Blower encendido
25-06-03	10.21	13.88	24.09	01:45:00	02:45:00	OFF	ON	Paleta encendido
25-06-04	10.02	13.94	23.96	02:45:00	03:30:00	ON	OFF	Blower encendido
25-06-05	10.40	13.77	24.16	03:30:00	04:30:00	OFF	ON	Paleta encendido
25-06-06	10.04	13.95	23.98	04:30:00	05:15:00	ON	OFF	Blower encendido
25-06-09	10.25	13.56	23.81	05:15:00	06:15:00	OFF	ON	Paleta encendido
25-06-10	10.06	13.98	24.03	06:15:00	07:00:00	ON	OFF	Blower encendido
25-06-11	10.01	13.78	23.79	07:00:00	08:00:00	OFF	ON	Paleta encendido

Fecha	Consumo Diario de Energía			Funcionamiento de los aireadores				
	kWh Blower	kWh Paleta	Energía Total (kWh)	Hora Inicio	Hora Fin	Blower	Paleta	Comentario
25-06-12	10.45	13.79	24.25	08:00:00	08:45:00	ON	OFF	Blower encendido
25-06-13	10.15	13.91	24.06	08:45:00	09:45:00	OFF	ON	Paleta encendido
25-06-16	10.28	13.99	24.27	09:45:00	10:30:00	ON	OFF	Blower encendido
25-06-17	9.98	14.21	24.19	10:30:00	11:30:00	OFF	ON	Paleta encendido
25-06-18	10.08	13.78	23.86	11:30:00	12:15:00	ON	OFF	Blower encendido
25-06-19	10.25	13.82	24.07	12:15:00	13:15:00	OFF	ON	Paleta encendido
25-06-20	9.97	13.94	23.92	13:15:00	14:00:00	ON	OFF	Blower encendido
25-06-23	10.25	14.03	24.28	14:00:00	15:00:00	OFF	ON	Paleta encendido
25-06-24	10.10	13.77	23.87	15:00:00	15:45:00	ON	OFF	Blower encendido
25-06-25	10.07	13.82	23.89	15:45:00	16:45:00	OFF	ON	Paleta encendido
25-06-26	10.02	13.67	23.69	16:45:00	17:30:00	ON	OFF	Blower encendido
25-06-27	10.51	13.73	24.24	17:30:00	18:30:00	OFF	ON	Paleta encendido

Nota. Datos de consumo diario medidos en campo durante 28 días en el campus La María con pinza Peak Meter MS2203 y multímetro FNIRSI DMC-100. Los ciclos operativos (ON/OFF) están automatizados por temporizadores para evitar solapamientos y optimizar la oxigenación.

La Figura 1 compara la potencia aparente de los motores empleados en el sistema de aireación. Ambos equipos presentan valores muy próximos entre sí, con una potencia aparente de 1,03 kVA para el aireador tipo Blower y de 1,00 kVA para el aireador de Paleta, lo que indica que la diferencia entre ambos motores es mínima. Este comportamiento muestra que los dos equipos poseen requerimientos eléctricos similares desde el punto de vista de la capacidad que debe suministrar la fuente de alimentación, de manera que el sistema puede dimensionarse considerando demandas de potencia prácticamente equivalentes para ambos motores.

Figura 1. Comparativa de Potencia Aparente de los motores



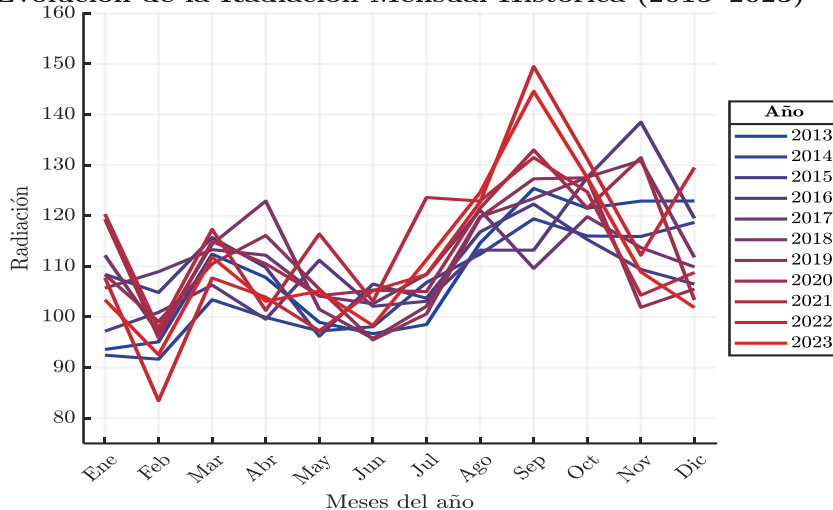
Nota. El gráfico evidencia demandas eléctricas equivalentes (1,03 kVA y 1,00 kVA), permitiendo un dimensionamiento uniforme de la fuente de alimentación.

Fase 2. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico híbrido

Al definir la demanda energética del sistema de aireación, el paso siguiente fue dimensionar la instalación fotovoltaica híbrida según el clima del campus La María. Los registros históricos de radiación e irradiación en la zona muestran un recurso estable durante todo el año, tal como se presenta en la Figura 2.

Figura 2. Radiación solar en UTEQ extensión La María.

Evolución de la Radiación Mensual Histórica (2013–2023)



Nota. Comparativa del comportamiento de radiación solar durante el intervalo del 2013 al 2023 en el Campus La María.

Después se evaluaron la irradiación promedio y la temperatura ambiente, porque ambos factores alteran la eficiencia de los paneles. El análisis sirvió para incluir márgenes de corrección en el cálculo técnico. De esta forma se logró proyectar el rendimiento real del equipo en su entorno y confirmar que la estructura propuesta bastará para cubrir la energía necesaria.

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico híbrido tomó como base la demanda energética diaria de 24,07 kWh, calculada previamente, y el potencial solar medido en la zona. Con estos datos de partida, se calculó la potencia pico necesaria para definir el número de módulos, la capacidad del banco de baterías y los parámetros del inversor híbrido, estructurando una configuración que responde a los requerimientos del proyecto.

Tabla 1. *Tabla de temperatura mensual promedio por año (2013–2023)*

Parámetro	Valor máximo	Mes valor max	Valor min	Mes valor min
Irradiación	115.7566 <i>kWh/m²</i>	Noviembre	106.736 <i>kWh/m²</i>	Febrero
Temperatura	23.49°C	Marzo	21.77 °C	Julio
Irradiación para temperatura	433.46W/m ²	Marzo	319.02W/m ²	Julio

Nota. Historial de variables meteorológicas obtenido de la base de datos PVGIS-ERA5 para el campus La María (2013–2023). El comportamiento cíclico muestra los niveles mínimos en febrero y máximos en el mes de noviembre.

Los resultados muestran que la configuración propuesta cubre la demanda energética del sistema de aireación y mantiene un margen de operación adecuado, de manera que se garantiza la continuidad del servicio. Al mismo tiempo, el diseño aprovecha el recurso solar disponible con mayor eficiencia, lo que respalda la viabilidad técnica del sistema fotovoltaico híbrido.

La configuración obtenida en este estudio guarda semejanza con la propuesta por (Ramos et al., 2025), quienes diseñaron un sistema fotovoltaico flotante con

almacenamiento en baterías para abastecer de energía a aireadores de paletas mediante simulaciones realizadas en HOMER Pro. En ambos estudios, el dimensionamiento se realizó a partir de la caracterización de la demanda energética y de la disponibilidad del recurso solar, lo que permitió definir la capacidad de los módulos fotovoltaicos y del banco de baterías según los requerimientos de operación del sistema. La principal diferencia radica en que (Ramos et al., 2025). desarrollaron un sistema aislado (off-grid), mientras que la presente investigación plantea una configuración híbrida conectada a la red eléctrica. Aun con esa diferencia, ambas metodologías coinciden en que un dimensionamiento apropiado resulta indispensable para mantener la continuidad del proceso de aireación y reducir el riesgo de fallas ocasionadas por un suministro energético insuficiente.

La configuración del sistema híbrido se estableció a partir de módulos fotovoltaicos monocristalinos, un inversor híbrido y un banco de baterías, cuyos componentes fueron dimensionados de acuerdo con la demanda energética del sistema de aireación, tal como se muestra en la Tabla 2. Para ello se consideraron criterios relacionados con la capacidad de generación, la eficiencia de operación y la compatibilidad eléctrica entre los equipos, lo que permitió definir una configuración adecuada para las condiciones de funcionamiento del campus La María. De este modo, el sistema dispone de los elementos necesarios para operar de forma estable y responder a los requerimientos energéticos previstos durante su funcionamiento.

Tabla 2. *Características de los Componentes del Sistema de respaldo Fotovoltaico*

Componente	Modelo	Potencia Nominal	Voltaje Nominal	Eficiencia	Corriente Nominal	Tipo
Panel Solar	LONGi LR4-72HPH-435M	435 W	41.86 V	20 %	10.87 A	Monocristalino
Batería	Soluna 5k Pack LV	5 kWh (100 Ah, 51.2 V)	51.2 V	>95 %	100 A máx. descarga	LiFePO4

Componente	Modelo	Potencia Nominal	Voltaje Nominal	Eficiencia	Corriente Nominal	Tipo
Inversor	Growatt SPF 6000 ES Plus	6000 W	48 VDC (batería) /230 VAC salida	93 %	80 A salida	Inversor híbrido, onda senoidal pura
Motores propuesta	WEG 2 HP 115/230V	1.5 kW (2 HP)	115/208-230 V	78.1 %	10.5 A	Monofásico, rotor de jaula

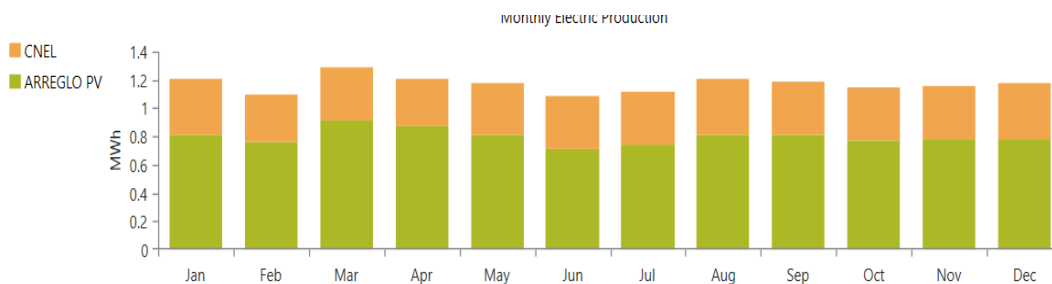
Nota. Especificaciones técnicas de los componentes seleccionados para la microred. Esta configuración garantiza la compatibilidad eléctrica y la autonomía necesaria para los motores de aireación de 2 HP.

Fase 3. Evaluación del desempeño del sistema fotovoltaico híbrido

Al finalizar el cálculo dimensional del sistema fotovoltaico híbrido, la determinación de su rendimiento se ejecutó mediante simulaciones numéricas en HOMER Pro 3.15.3 y MATLAB/Simulink R2022a. El análisis examinó de forma directa la producción de energía, el aporte de cada fuente, la dinámica del banco de baterías y la respuesta eléctrica del inversor híbrido, variables indispensables para establecer la caracterización operativa integral de la planta.

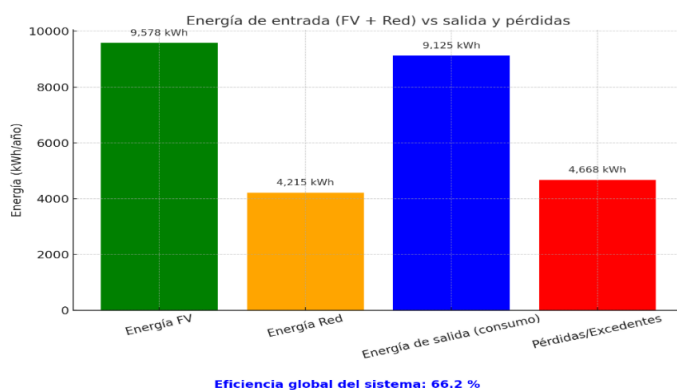
Los resultados obtenidos se compararon con los del sistema convencional utilizado actualmente en el campus La María, de manera que fue posible identificar las diferencias entre ambas configuraciones desde el punto de vista energético. Con ello, se evaluó la capacidad del sistema fotovoltaico híbrido para satisfacer la demanda de los aireadores y se obtuvo una base técnica para valorar su desempeño frente al esquema de suministro convencional.

Figura 3. Producción mensual de energía en el sistema híbrido y red



Nota. Distribución mensualizada de la generación eléctrica (MWh) simulada en HOMER Pro, detallando la interacción entre el arreglo fotovoltaico y el aporte complementario de la red de CNEL.

Figura 4. Energía del sistema híbrido y red



Nota: Balance energético anual (kWh/año) desarrollado en HOMER Pro, donde se contrastan las fuentes de entrada frente al consumo real y las mermas por conversión.

Los resultados obtenidos durante la investigación indican que el sistema híbrido alcanza una eficiencia global aproximada del 66,2 %, tal como se presenta en la Figura 4 . Para determinar este valor, se comparó la energía total de entrada, equivalente a 13 793 kWh/año y proveniente tanto de la generación fotovoltaica como del suministro de la red eléctrica, con la energía útil entregada a la carga, que alcanzó 9 125 kWh/año. Esta relación muestra que cerca del 33,8 % de la energía disponible corresponde a pérdidas asociadas a los procesos de conversión y a excedentes que no llegaron a ser aprovechados, lo que permite evaluar el desempeño energético real de la configuración propuesta.

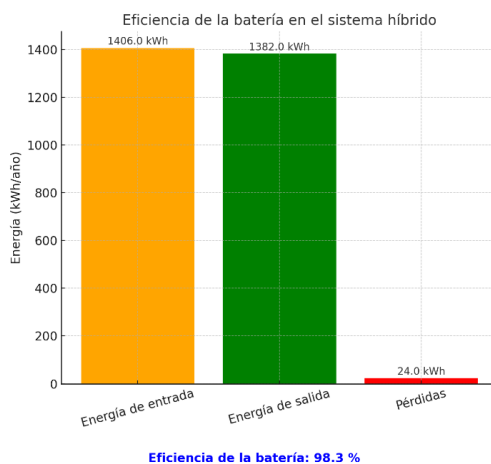
El sistema presenta una expectativa de vida útil de 25 años y mermas promedio de 4 668 kWh/año. Al mismo tiempo, el dimensionamiento realizado deja un margen suficiente

para incorporar hasta tres motores adicionales sin modificar la configuración principal, lo que aporta mayor flexibilidad para futuras ampliaciones.

Los resultados obtenidos coinciden con los reportados por (Sulthan et al., 2026), quienes comprobaron la viabilidad técnica de un sistema fotovoltaico para suministrar energía a aireadores acuícolas. En su estudio, el sistema alcanzó una generación anual de 10 174 MWh y proporcionó un rendimiento suficiente para mantener la operación continua de los equipos de producción. Ambos trabajos respaldan la factibilidad técnica de incorporar energía solar en la acuicultura; sin embargo, la diferencia en la cantidad de energía generada se explica principalmente por la escala de cada proyecto.

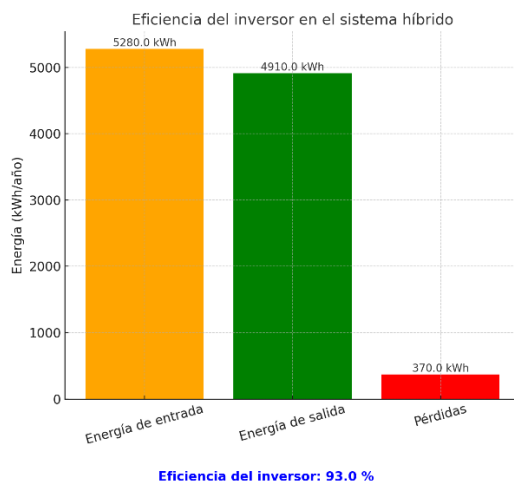
El sistema analizado por (Sulthan et al., 2026). correspondió a una planta fotovoltaica flotante de 7,26 MWp diseñada para cubrir una elevada demanda energética. En cambio, la presente investigación evaluó una microred híbrida de 7,80 kW destinada específicamente a respaldar el funcionamiento de dos motores de aireación, con prioridad en la continuidad del suministro más que en maximizar la generación eléctrica.

Figura 5. *Desempeño anual de la batería en el sistema híbrido*



Nota: Comportamiento energético anualizado de la batería de litio Soluna simulado en HOMER Pro. El gráfico detalla una eficiencia del 98,3% con mermas de apenas 24 kWh/año, lo que valida la alta capacidad de almacenamiento con muy pocas pérdidas.

Figura 6. Desempeño energético del inversor (DC- AC)

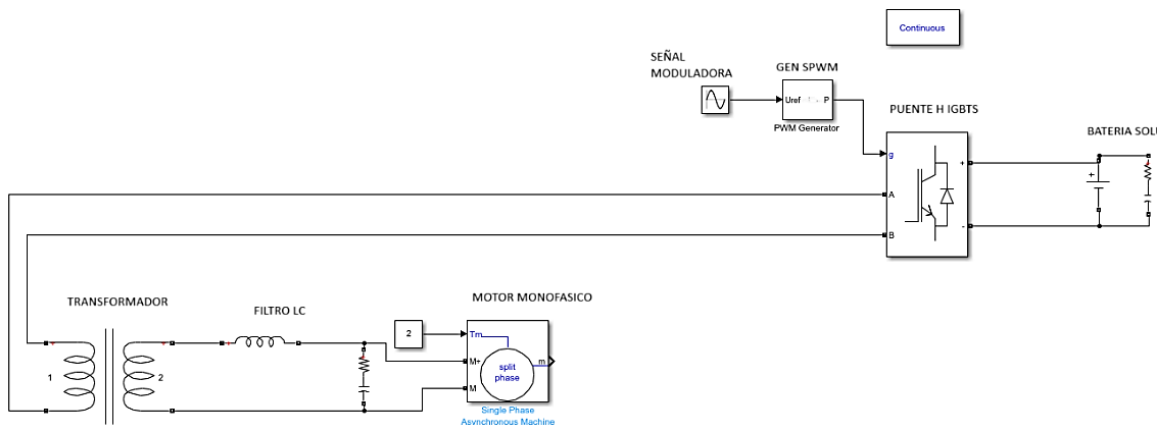


Nota: Análisis operacional del inversor Growatt en la conversión de corriente continua a alterna ($DC \rightarrow AC$) desarrollado en HOMER Pro

El resultado obtenido muestra una eficiencia de conversión del 93%, como se indica en la

Figura 6, valor que coincide con la eficiencia nominal indicada por el fabricante del inversor híbrido.

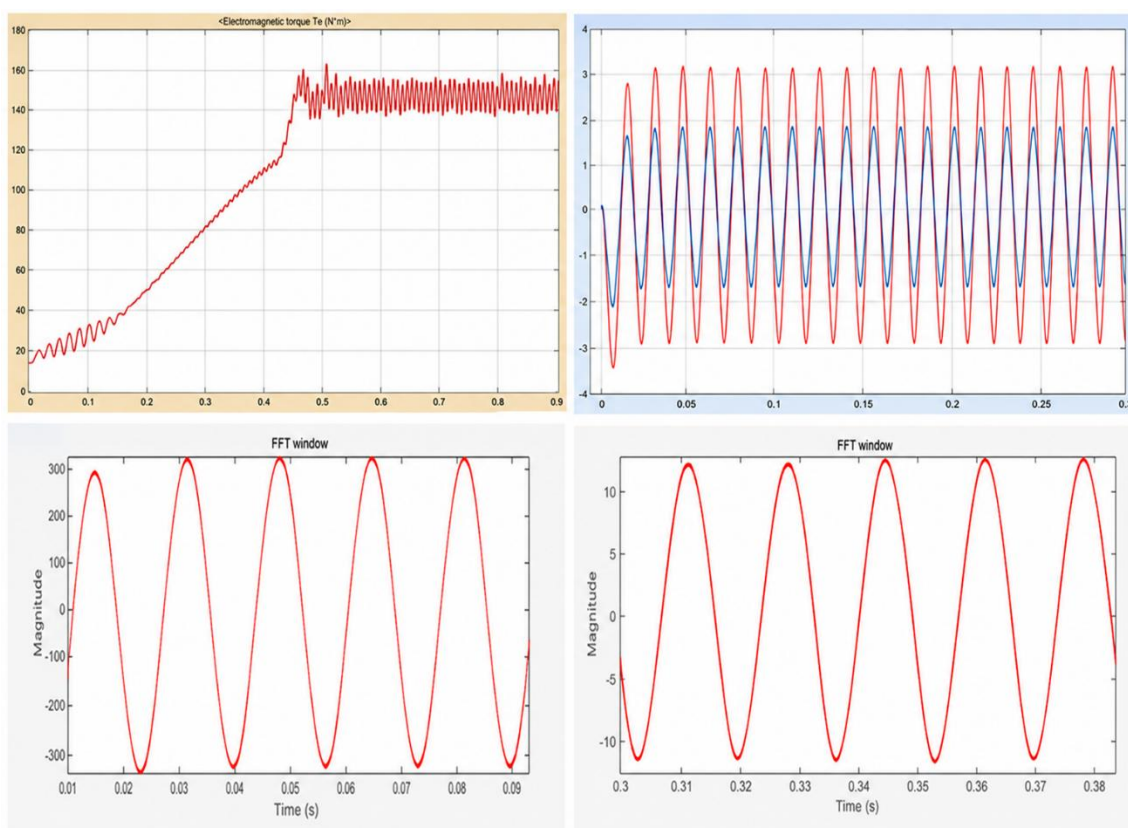
Figura 7. Resultados de Simulación en MATLAB/Simulink



Nota: Modelo circuital implementado en MATLAB/Simulink para la simulación del inversor híbrido. Muestra la integración del puente H con control SPWM, el filtro LC y el transformador para la alimentación y análisis del comportamiento del motor monofásico

En la simulación desarrollada mediante el analizador FFT de MATLAB se analizó la señal de voltaje en vacío, sin la conexión del motor y considerando dos ciclos completos de la onda. A partir de este análisis, se identificó que la componente fundamental corresponde a una frecuencia de 60 Hz, mientras que su magnitud alcanzó un valor aproximado de 315,9 V pico, como se presenta en la Figura 7 lo que confirma el comportamiento esperado de la señal bajo las condiciones evaluadas.

Figura 8. Resultados de la simulación del motor monofásico split-phase en condiciones de carga



Nota. Respuesta dinámica y eléctrica del motor split-phase bajo carga simulado en MATLAB. Las curvas detallan la estabilización de la velocidad y el análisis FFT, registrando un THD bajo 2,79% en voltaje y 5,22% en corriente que convalida la calidad del suministro del inversor.

La Figura 8 ilustra el comportamiento dinámico y eléctrico del motor monofásico split-phase de 4 polos durante las etapas de arranque y régimen permanente. En el registro

temporal se observa que la velocidad angular asciende de manera gradual desde el reposo hasta estabilizarse cerca de los 200 rad/s (aproximadamente 1900 rpm), una respuesta acorde con la frecuencia de alimentación de 60 Hz bajo un deslizamiento normalizado de 3 a 5 %.

Durante el transitorio de arranque, el devanado principal absorbe una alta corriente para producir el torque requerido frente a la inercia inicial, mientras el devanado auxiliar aporta el desfase eléctrico necesario para iniciar el movimiento. Al consolidarse el régimen estable, el análisis mediante la Transformada Rápida de Fourier (FFT) corrobora que el voltaje y la corriente conservan su componente fundamental de 60 Hz, con magnitudes de 321,4 V y 12,41 A, respectivamente. Por último, la distorsión armónica total (THD) de 2,79 % en el voltaje y de 5,22 % en la corriente confirma la baja penetración de componentes armónicos, validando que el inversor suministra energía con las condiciones de calidad requeridas para sostener la operación continua del motor bajo carga.

Fase 4. Análisis de la factibilidad técnica y económica

Tabla 3. Estudio comparativo de los resultados de la simulación en Homer

Caso	Inversión (USD)	NPC(USD)	LCOE(USD/kWh)	Precio (USD/año)	Consumo anual kWh
Base (solo red)	0	9475	0,0878	771.40	8789

Nota. Análisis económico en HOMER Pro que establece la línea base del sistema convencional, solo red. Registra un costo nivelado de energía (LCOE) de 0,0878 USD/kWh y un consumo de 8789 kWh/año, que sirve como referencia para evaluar la viabilidad de la propuesta híbrida

La evaluación económica comenzó con la comparación entre el sistema convencional, abastecido únicamente por la red eléctrica, y la alternativa propuesta basada en un sistema fotovoltaico híbrido. Como se aprecia en la Tabla 3, el escenario convencional no requiere una inversión inicial; sin embargo, depende por completo del suministro de la

red y presenta un costo nivelado de energía de 0,0878 USD/kWh, asociado a un consumo anual de 8789 kWh. A partir de estos resultados, se estableció la línea base para analizar el impacto económico derivado de la incorporación del sistema híbrido y valorar su desempeño frente al esquema de suministro tradicional.

Tabla 4. *Rendimiento energético del sistema híbrido*

Categoría	Indicador	Valor	Unidad	Porcentaje
Producción	Generación FV (LONGi)	9.578	kWh/año	69,4 %
	Compras a la red (CNEL)	4.215	kWh/año	30,6 %
	Total, producción	13.793	kWh/año	100 %
Consumo	Motores	9.125	kWh/año	100 %
Fracción renovable		53,8	%	-

Nota. Balance energético anualizado del sistema híbrido obtenido mediante simulación en HOMER Pro. El desglose cuantitativo detalla una fracción renovable del 53,8%, el cual evidencia que el arreglo fotovoltaico cubre la mayor parte de la producción frente a las compras a la red.

Los resultados obtenidos mediante HOMER Pro 3.15.3, como se presenta en la Tabla 4, indican que el sistema híbrido produjo 9,578 kWh/año a partir de la generación fotovoltaica, lo que representa el 69,4 % de la energía total generada. Por su parte, la energía suministrada por la red eléctrica correspondió al 30,6 % restante, alcanzándose una fracción renovable del 53,8 %. De esta manera, la configuración propuesta reduce de forma importante la dependencia del suministro convencional y, al mismo tiempo, proporciona el respaldo necesario para mantener la operación continua.

Tabla 5. *Rendimiento energético económico del arreglo fotovoltaico*

Cantidad	Valor	Unidades
Capacidad Nominal	7.80	kW
Potencia media	1.5	kW
Producción media	26.2	kWh/día
Factor de Planta	14	%

Cantidad	Valor	Unidades
Producción total	9578	kWh/Año
Horas de Operación	4398	h/año
Costo nivelado de energía	0.0815	\$/kWh

Nota: Indicadores operativos del arreglo fotovoltaico de 7,80 kW obtenidos mediante simulación en HOMER Pro. El balance destaca un factor de planta del 14% y un costo nivelado de energía (LCOE) de 0,0815 USD/kWh, el cual respalda la eficiencia y competitividad del recurso solar frente a la red convencional.

El análisis técnico del sistema fotovoltaico muestra una capacidad instalada de 7,80 kW, a partir de la cual se obtuvo una producción promedio de 26,2 kWh/día y una generación anual de 9578 kWh. Con estos resultados, el factor de planta alcanzó un 14 %, valor que se encuentra dentro, tal como se muestra en la Tabla 5 del rango reportado para sistemas fotovoltaicos comerciales que operan bajo condiciones similares de irradiación. Esto hace que el desempeño del sistema sea consistente con el esperado para este tipo de instalaciones.

Por otra parte, el costo nivelado de energía fue de 0,0815 USD/kWh, cifra ligeramente inferior a la obtenida para el sistema convencional, lo que refleja una mejor eficiencia desde el punto de vista energético y económico.

Tabla 6. *Valores Técnicos Económicos del sistema*

Ítem	Valor	Unidad
Precio kWh total LCOE	0.1902	\$/kWh
NPC	21,748.89	\$
Consumo Anual	9125	kWh
FV Generación	9578	kWh
Compras de Red	4215	kWh
LCOE FV	0.113	\$/kWh
VAN	-11,660	\$
TIR	No aplica	
ROI	-7.4	%

Nota: Resumen de los indicadores técnico-económicos globales de la microred . El balance registra un VAN de -11,660 USD y un ROI de -7,4%, el cual confirma que la viabilidad del sistema radica en la seguridad operativa y protección de la biomasa antes que en la rentabilidad financiera

Los resultados del análisis técnico muestran que el sistema híbrido fotovoltaico y de red abastece los requerimientos energéticos de los aireadores al integrar la generación solar, el almacenamiento en baterías y el respaldo de la red eléctrica comercial. El modelado de simulación en HOMER Pro 3.15.3 registró una eficiencia global de la planta del 66,2 %, con rendimientos individuales del 93,0 % para el inversor y del 98,3 % en las baterías. Asimismo, la participación del recurso renovable alcanzó el 53,8 %, un parámetro cuantitativo que consolida el descenso directo en la dependencia del suministro eléctrico tradicional.

En cuanto al análisis económico, el sistema registró un costo nivelado de energía de 0,1902 USD/kWh y una producción fotovoltaica anualizada de 9578 kWh, lo cual restringió la adquisición de electricidad externa a 4215 kWh/año.

Sin embargo el cálculo de los indicadores financieros determinó un Valor Actual Neto negativo de 11 660 USD, un Valor Anual Equivalente de -949 USD/año y un retorno de inversión de -7,4 %, como se presenta en la Tabla 6 ,lo que implica que el capital aportado no se recupera dentro del horizonte temporal evaluado e invalida la aplicación de la Tasa Interna de Retorno o del periodo de recuperación de la inversión. Esta configuración técnica asegura la continuidad operativa y mitiga la subordinación a la red comercial, aunque carece de factibilidad financiera bajo las condiciones de costos estudiadas.

Desde el punto de vista económico, los resultados obtenidos difieren de los reportados por (Amin et al., 2025), quienes evaluaron una planta fotovoltaica flotante integrada con un sistema acuícola y registraron un costo nivelado de energía de 0,0467

USD/kWh, además de un periodo de recuperación de la inversión de 6,1 años, por lo que consideraron el proyecto financieramente atractivo.

(Amin et al., 2025) analizaron una planta fotovoltaica de gran capacidad orientada a maximizar la generación de energía y abastecer a múltiples consumidores. La presente investigación, en cambio, evaluó un sistema de respaldo concebido para asegurar el funcionamiento continuo de los aireadores, donde la prioridad del diseño fue mantener la confiabilidad del suministro antes que obtener la mayor producción eléctrica.

Conclusiones

El dimensionamiento y la evaluación del sistema fotovoltaico híbrido confirmaron que esta configuración cubre la demanda eléctrica de los aireadores del campus La María, con lo que se evita cortar el flujo de energía gracias al uso integrado de paneles, baterías y el inversor. Esto demuestra que la propuesta es técnicamente viable para proyectos acuícolas donde detener la operación no es una alternativa admisible.

La incorporación del sistema híbrido disminuyó de forma directa la dependencia de la red convencional y aumentó el porcentaje de energía limpia en los equipos de aireación, lo que da mayor estabilidad frente a los apagones en los últimos años. Los resultados muestran el valor real de la tecnología fotovoltaica como respaldo en instalaciones con cargas que no pueden apagarse.

Aunque el análisis económico indicó que la inversión no genera ganancias bajo el esquema financiero y de tarifas estudiado, el sistema funciona como un seguro para evitar pérdidas materiales por cortes de luz. La instalación conviene cuando la meta es asegurar la supervivencia del cultivo y la continuidad del proceso, dejando en segundo plano la velocidad del retorno financiero.

Referencias bibliográficas

- Amin, N., Ul Haq, M. A., Akhi, R. A., Saku, A. S., Alam, M. S., & Al Mansur, A. (2025). Techno-Economic and Environmental Evaluation of a Floating PV Plant Integrated with Aquaculture for Sustainable Energy and Food Production. *IEEE International WIE Conference on Electrical and Computer Engineering/WIECON-ECE*, (2025), 527–532. <https://doi.org/10.1109/WIECON-ECE69386.2025.11525972>
- Boyd, C. E., Torrans, E. L., & Tucker, C. S. (2018). Dissolved Oxygen and Aeration in Ictalurid Catfish Aquaculture. *Journal of the World Aquaculture Society*, 49(1), 7–70. <https://doi.org/10.1111/jwas.12469>
- Dworak, P., Mrozik, A., Korzelecka-Orkisz, A., Tański, A., & Formicki, K. (2023). Energy Self-Sufficiency of a Salmonids Breeding Facility in the Recirculating Aquaculture System. *Energies*, 16(6), 2565. <https://doi.org/10.3390/en16062565>
- Fikriyadi, Z. A., Nafiah, R., & Utami, D. M. P. (2025). Optimisation of Solar-Powered Aerators for Shrimp Aquaculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1488(1), 012131. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1488/1/012131>
- Imani, M., Fakour, H., Lo, S.-L., Yuan, M.-H., Chen, C.-K., Mobasser, S., & Muangthai, I. (2023a). Aquavoltaics Feasibility Assessment: Synergies of Solar PV Power Generation and Aquaculture Production. *Water*, 15(5), 987. <https://doi.org/10.3390/w15050987>
- Imani, M., Fakour, H., Lo, S.-L., Yuan, M.-H., Chen, C.-K., Mobasser, S., & Muangthai, I. (2023b). Aquavoltaics Feasibility Assessment: Synergies of Solar PV Power Generation and Aquaculture Production. *Water*, 15(5), 987. <https://doi.org/10.3390/w15050987>
- Jamroen, C., Kotchprapa, P., Chotchuang, S., Phoket, R., & Vongkoon, P. (2023). Design and performance analysis of a standalone floating photovoltaic/battery energy-powered paddlewheel aerator. *Energy Reports*, 9, 539–548. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.11.096>
- Murillo Limones, R., Rendón Guerra, G. del P., Ortega Cabrera, R., & Moreno Cedeño, G. (2018). Creación de Empresa comercializadora y distribuidora de Paneles Solares en el Cantón Quevedo-Ecuador. *Ciencia Sociales y Económicas*, 2(2), 1–13. <https://doi.org/10.18779/csye.v2i2.271>
- Muzammal Islam, M., Yu, T., Giannoccaro, G., Mi, Y., la Scala, M., Rajabi Nasab, M., & Wang, J. (2024). Improving Reliability and Stability of the Power Systems: A Comprehensive Review on the Role of Energy Storage Systems to Enhance Flexibility. *IEEE Access*, 12, 152738–152765. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3476959>
- Nguyen, N. T., & Matsushashi, R. (2019). An Optimal Design on Sustainable Energy Systems for Shrimp Farms. *IEEE Access*, 7, 165543–165558. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2952923>
-

- Nguyen, N. T., Matsushashi, R., & Vo, T. T. B. C. (2021). A design on sustainable hybrid energy systems by multi-objective optimization for aquaculture industry. *Renewable Energy*, 163, 1878–1894. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.024>
- Ramos, H. M., Soehlemann, N., Bekci, E., Coronado-Hernández, O. E., Pérez-Sánchez, M., McNabola, A., & Gallagher, J. (2025). Challenges in Aquaculture Hybrid Energy Management: Optimization Tools, New Solutions, and Comparative Evaluations. *Technologies*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/technologies13100453>
- Stanković, A. M., Tomsovic, K. L., De Caro, F., Braun, M., Chow, J. H., Čukalevski, N., Dobson, I., Eto, J., Fink, B., Hachmann, C., Hill, D., Ji, C., Kavicky, J. A., Levi, V., Liu, C.-C., Mili, L., Moreno, R., Panteli, M., Petit, F. D., ... Zhao, S. (2023). Methods for Analysis and Quantification of Power System Resilience. *IEEE Transactions on Power Systems*, 38(5), 4774–4787. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2022.3212688>
- Sulthan, S. M., Lim, T. H., Tashim, N. A. Z., Revathi, B. S., Pandi, V. R., & Balaji, S. S. (2026). Techno-Economic and Environmental Feasibility of a Solar PV-Based Power Supply System for Paddle Wheel Aerator Operation in Aquaculture Farms. *Sustainability (Switzerland)*, 18(5). <https://doi.org/10.3390/su18052386>
-