



ALLIANCE™

(<https://www.globalseafood.org>).



Responsibility

Aspectos económicos de la producción de tilapia roja mediante tecnología de biofloc bajo diferentes fuentes de energía eléctrica en Colombia

18 February 2025

By Daniel Leonardo Cala-Delgado, MVZ

El costo de los sistemas de energía fotovoltaica fue menor, generando un excedente y el mayor ahorro de costos



Estudio analizó la producción de tilapia roja en un sistema de tecnología de biofloc utilizando energía eléctrica convencional (hidroeléctrica) para determinar si la energía fotovoltaica, con sus variaciones, puede mejorar la viabilidad económica de la actividad.

Foto de Darryl Jory.

El combustible y la electricidad son las principales fuentes de energía utilizadas para producir organismos acuáticos; se utilizan para bombear agua, enfriar, procesar y airear. Los costos de energía dependen de la ubicación regional del sistema. El consumo de energía eléctrica es directamente proporcional a la intensificación de la producción y la tecnología utilizada, y contribuye al impacto ambiental de la acuacultura. El uso de **energía eléctrica** (<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.11.014>) puede poner en riesgo financiero la viabilidad de los sistemas de producción debido al aumento e inestabilidad de los precios de la energía.

Los costos de electricidad pueden representar entre el 10 y el 25 por ciento de los costos de producción en sistemas con carga intensiva en electricidad, especialmente en sistemas de acuacultura de recirculación (RAS). Los equipos de oxigenación en RAS pueden consumir el 20 por ciento de la energía total utilizada y suman un 5 por ciento al costo final por kilogramo del producto. **Estudios realizados en Brasil** (<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735814>) han reportado que el costo de la energía eléctrica en sistemas BFT en Brasil podría representar entre el 11 y el 15 por ciento de los costos de producción de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en un sistema de tecnología de biofloc (BFT). **Proyectos experimentales con pacu** (<http://doi.org/10.15446/rfmvz.v64n1.65824>). (*Piaractus brachypomus*) y tilapia del Nilo utilizando BFT en Colombia han reportado que la energía eléctrica representa entre el 10 y el 14 por ciento de los costos de producción.

En acuacultura, se han propuesto diferentes fuentes de energía para su uso según la disponibilidad de recursos en cada país y las tecnologías desarrolladas. Algunos ejemplos incluyen el uso de energía geotérmica en sistemas para la producción de peces en países como Islandia y Egipto, o el calor residual de la energía termoeléctrica o hidroeléctrica. Existen estudios limitados sobre el uso de

biomasa, energía eólica o maremotriz en la piscicultura, y la energía fotovoltaica se ha propuesto como una alternativa en la acuacultura y se ha estudiado en criaderos de tilapia, sistemas de recirculación y producción de peces marinos.

Este artículo – [resumido](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) de la [publicación original](https://doi.org/10.3390/fishes9120505) (<https://doi.org/10.3390/fishes9120505>) [Cala-Delgado, D.L. et al. 2024. Economic Analysis of Red Tilapia (*Oreochromis* sp.) Production Under Different Solar Energy Alternatives in a Commercial Biofloc System in Colombia. *Fishes* 2024, 9(12), 505] – informa sobre una investigación que analizó la producción de tilapia roja (*Oreochromis* sp.) en un sistema BFT utilizando energía eléctrica convencional (hidroeléctrica) para determinar si la energía fotovoltaica, con sus variaciones, puede mejorar la viabilidad económica de la actividad.



(<https://link.ctbl.com/aquapod>).

Configuración del estudio

El estudio, realizado en la Asociación de Piscicultores El Vergel, Arauca, Colombia, investigó los aspectos económicos de la producción de tilapia roja (*Oreochromis* sp.) mediante tecnología de biofloc (BFT) bajo diferentes fuentes de energía eléctrica. El sistema de producción utilizado incluyó nueve tanques circulares de 143 metros cúbicos, cada uno con suministro de energía independiente y sistema de aireación (Fig. 1).



Fig. 1: Vista de un sistema de producción experimental utilizado en el estudio, con tanques de geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE) y sistema fotovoltaico.

Se utilizó una densidad promedio de 6500 peces por tanque (45,4 peces por metro cúbico), con tilapias rojas con un peso original de $5 \pm 0,2$ gramos cada una y previamente masculinizadas mediante procedimientos estándar. La aireación fue constante durante el estudio, proporcionada por aireadores radiales de salpicadura de 1,5 hp conectados a las fuentes de energía eléctrica en estudio. Para el mantenimiento del pH, se añadieron 25 g/m³/día de hidróxido de calcio cuando los valores cayeron por debajo de 6,5. Para el mantenimiento y control de los niveles de compuestos nitrogenados, se utilizó melaza líquida (50 por ciento de carbono) en una relación C:N de 6:1 cuando los valores de amonio superaron 1 mg por litro.

El estudio evaluó cuatro tratamientos energéticos: energía convencional (CE), energía convencional y fotovoltaica combinada (CPVE), energía fotovoltaica completa (PVE) y simulación de energía fotovoltaica que genera excedentes para uso nocturno (PVES). La CPVE utiliza energía fotovoltaica durante el día y electricidad convencional durante la noche, lo que reduce los costos en un 40 por ciento, pero sigue dependiendo de la red durante la noche. La PVE es completamente independiente y depende de paneles solares y baterías, lo que elimina los costos de electricidad, pero requiere una gran inversión inicial y un mantenimiento continuo debido a la depreciación de las baterías. La PVES genera suficiente energía fotovoltaica tanto para el día como para la noche, y vende el excedente durante el día para cubrir el uso nocturno, lo que evita la necesidad de baterías, pero sigue dependiendo de la red durante los cortes.

Experimental design

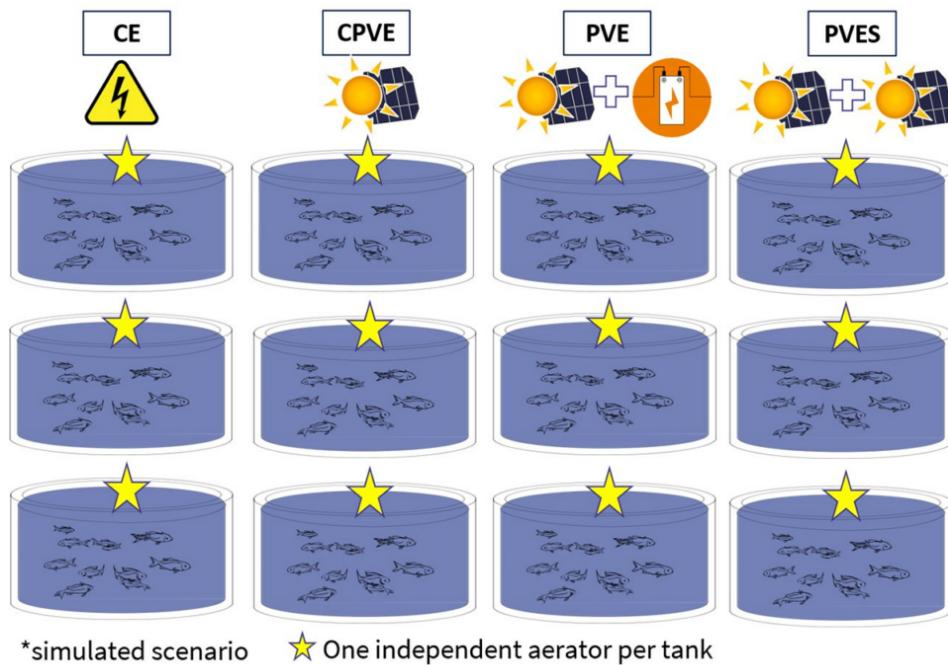


Fig. 2: Representación gráfica del diseño experimental utilizado en este estudio. Adaptado del original.

Para obtener información detallada sobre el diseño experimental, el sistema BFT y los sistemas de energía utilizados, la recopilación y los análisis de datos, consulte la publicación original.

Resultados y discusión

Los resultados de este estudio sobre la producción de tilapia roja utilizando BFT en Colombia mostraron tasas de supervivencia y tasas de conversión alimenticia favorables, con una biomasa final que alcanzó 370–470 g en 30 semanas, pero la rentabilidad dependía de la reducción de los costos de energía y la optimización de los precios de venta. De manera similar, un estudio de BFT sobre tilapia del Nilo (<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735814>) en Brasil encontró que las densidades de siembra intermedias (33 peces/m³) proporcionaron el mejor crecimiento y rentabilidad, con peces que alcanzaron un peso promedio de 842,26 gramos. En México, una comparación de BFT y tecnologías de agua verde (<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736534>) (GWT) mostró que, si bien BFT había reducido los costos de alimentación debido al biofloc, requirió más energía, especialmente durante la estación seca, y la GWT fue más rentable en ciertas condiciones, logrando una tasa de conversión alimenticia de 1,27 y un tamaño de mercado en 145 días.

Los costos de inversión (Fig. 3) para los sistemas CE, CPVE y PVE fueron de US\$45.831,39, US\$58.035,91 y US\$147.219,67, respectivamente. Para el sistema PVES de simulación, la inversión podría alcanzar hasta US\$100.690,39. La infraestructura de uso común fue el rubro con mayor participación porcentual de los costos de inversión para CE y CPVE, 52,29 y 41,29 por ciento, respectivamente. La inversión más alta para PVE y PVES fue la compra de sistemas de energía eléctrica fotovoltaica, US\$103.507,90 y US\$56.978,62, respectivamente. El costo de inversión para la compra de aireadores de salpicadura estuvo entre 12,17 por ciento y 3,79 por ciento para los diferentes sistemas.

Fig. 3: Participación porcentual de los costos de inversión inicial para el cultivo de peces en tecnología biofloc (BFT) con diferentes fuentes de energía eléctrica en la región oriental de Colombia. (A) CE, (B) CPVE, (C) PVE, (D) PVES. CE: tanques con energía convencional; CPVE: tanques con energía convencional combinada + energía fotovoltaica; PVE: tanques con energía fotovoltaica completa y baterías; PVES: simulación con tanques con energía que generan energía excedente para uso nocturno sin baterías. Adaptado del original.

El valor de la inversión varió en función del sistema energético utilizado. Las baterías de almacenamiento de energía fotovoltaica incrementaron el costo total de inversión tres veces en comparación con el de la producción con energía convencional o un sistema fotovoltaico parcial. La inversión en instalaciones eléctricas para el sistema PVE duplicó la del sistema PVES, aunque el número de paneles adquiridos para PVES fue mayor que para PVE. Las baterías costaron el triple que los paneles. En general, los sistemas fotovoltaicos redujeron los costos de producción. El uso de baterías de almacenamiento de energía en el sistema PVE redujo el costo operativo efectivo total (EOC) en aproximadamente un 7,7 por ciento en comparación con el del sistema PVES y en un 27,4 por ciento en comparación con el del sistema CE (Fig. 3).

El costo de los alimentos fue del 41 por ciento para el CPVE y del 39 por ciento para los sistemas CE y PVE (Fig. 4). El costo de los alimentos más alto en todo el estudio se observó para la simulación PVES con una participación del 43 por ciento en los costos de producción. Los valores no se vieron afectados por el sistema de energía implementado para el funcionamiento de los aireadores.

Fig. 4: Participación porcentual en los costos de producción de tilapia roja en tecnología biofloc (BFT) con diferentes fuentes de energía eléctrica en la región oriental de Colombia. Adaptado del original.

La mano de obra especializada para implementar el sistema BFT fue el segundo rubro con mayor participación en los costos de producción, con un 20 por ciento, en promedio, para todos los sistemas de energía eléctrica estudiados.

El costo del suministro de agua fue el mismo para todos los sistemas. Los costos de facturación de energía eléctrica disminuyeron con la implementación de sistemas fotovoltaicos. En PVE, los costos de energía o combustible no se consideraron debido a las baterías de almacenamiento. Por el contrario, aquellos sistemas sin baterías consumieron entre el 6 por ciento y el 8 por ciento de los costos de combustible debido al uso de generadores eléctricos durante un corte de energía. Esto representó el 9 por ciento y el 14 por ciento en los sistemas CE y CPVE, respectivamente. Los costos de mantenimiento fueron \$587,36 para PVES y \$858,78 para PVE. Esto se puede atribuir a los equipos instalados, cuyo

costo fue mayor al de las instalaciones eléctricas convencionales. La vida útil de la batería (cinco años) y el equipo necesario para la producción fotovoltaica representaron el 26 por ciento del TOC en depreciación, lo que convierte a este sistema en el de mayor depreciación.

La utilidad bruta es importante al analizar el flujo de caja, que a su vez es un indicador de la viabilidad financiera de los proyectos de producción. En este estudio, el valor actual neto (VAN/NPV), la tasa interna de retorno (TIR/IRR) y el período de recuperación (PB) muestran que los sistemas de energía fotovoltaica, aunque requieren un mayor capital inicial debido a los costos de los paneles solares y las baterías, pueden generar ahorros sustanciales a largo plazo en los costos operativos, especialmente los costos de energía. El VAN más alto se registró para el sistema PVES, ya que generó un excedente de energía para uso nocturno, lo que refleja un período de recuperación más favorable en comparación con otros modelos que dependen únicamente de la CE.



Una comparación del uso de recursos en el cultivo de camarones, parte 3: Energía

En la tercera parte de esta serie, los autores dicen que un menor uso de energía en el cultivo de camarones requiere que los productores se concentren en el intercambio de agua y la aireación.



Global Seafood Alliance

La viabilidad económica de la producción de tilapia roja mediante sistemas de energía fotovoltaica puede verse significativamente influenciada por variables de mercado como los precios de los alimentos, los costos laborales y los gastos de venta. Se realizó un análisis de sensibilidad para evaluar los efectos de una reducción del 10 por ciento en estos costos sobre el costo operativo total (TOC) y las métricas de rentabilidad. Los alimentos, que constituyen la mayor proporción de los costos de producción (hasta un 41 por ciento en este estudio), se analizaron en un escenario de precios reducidos. Una reducción del 10 por ciento en los costos de los alimentos reduciría el TOC en

aproximadamente un 4 por ciento, mejorando los márgenes de ganancia bruta, en particular en sistemas de alto consumo de energía como CE y CPVE. Esto es particularmente relevante dada la dependencia de dietas ricas en proteínas en los sistemas de biofloc.

Los costos de mano de obra, que representan alrededor del 20 por ciento de los costos de producción en todos los sistemas, se analizaron de manera similar para una reducción del 10 por ciento. Tal disminución reduciría el TOC en un 2 por ciento, ofreciendo una mayor flexibilidad financiera para los productores de pequeña escala. Las estrategias para lograr esto podrían incluir la adopción de prácticas eficientes en el uso de la mano de obra o la ampliación de la producción para maximizar el uso del personal existente sin comprometer la eficiencia operativa.

Los costos de venta, que están influenciados por los precios intermediarios y los gastos logísticos, también juegan un papel crucial en la determinación de la rentabilidad. Una reducción del 10 por ciento en los costos de venta, lograda mediante estrategias de comercialización directa al consumidor o una mayor eficiencia de la cadena de suministro, podría reducir aún más el TOC en aproximadamente un 1-2 por ciento, lo que aumentaría los ingresos netos. Estas reducciones en conjunto resaltan la importancia de optimizar los insumos de producción y las estrategias de venta para protegerse contra las incertidumbres del mercado y mejorar la viabilidad económica de los sistemas de acuacultura.

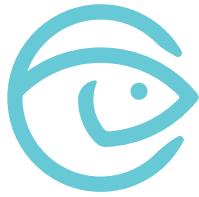
Al integrar estos ajustes, el desempeño financiero de los sistemas PVES en particular se vuelve cada vez más atractivo, con períodos de recuperación mejorados y un valor actual neto (VAN/NPV) más alto. Este análisis subraya el potencial de las intervenciones específicas en la reducción de costos para mejorar la sostenibilidad y la rentabilidad de las operaciones de acuacultura, en particular para los productores en pequeña escala que son más vulnerables a las fluctuaciones del mercado.

Perspectivas

El análisis económico del estudio sugiere que la estrategia PVES muestra resultados prometedores. Con una inversión inicial menor en comparación con el sistema PVE, la estrategia PVES elimina la necesidad de baterías al vender el excedente de energía durante el día para compensar el consumo nocturno. Esto reduce la dependencia de costosos sistemas de almacenamiento de energía al tiempo que mantiene una producción eficiente. En consecuencia, el tratamiento PVES reduce los costos operativos totales y aumenta los márgenes de ganancia bruta, lo que lo convierte en una opción económicamente atractiva para la acuacultura sustentable en regiones ricas en sol.

Se deben realizar más estudios para evaluar la cadena de valor de la tilapia roja, mejorando así los resultados económicos. Se debe realizar investigación sobre las fuentes de energía para el sistema de biofloc y se deben buscar herramientas que permitan un uso más eficiente de la mano de obra especializada, por ejemplo, aumentar las unidades productivas y calcular el número de trabajadores necesarios para las unidades, sin afectar negativamente los costos de producción. En general, la reducción en los costos de energía discutida resalta el potencial de los sistemas de energía solar para mejorar la viabilidad económica de la producción acuícola, lo que hace de estos sistemas una opción favorable y sustentable.

Author

**DANIEL LEONARDO CALA-DELGADO, MVZ**

Corresponding author

Grupo de Investigación en Ciencias Animales, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Cooperativa de Colombia, Bucaramanga 680001, Colombia; and Centro de Aquicultura da Unesp, Universidade Estadual Paulista (Unesp), s/n, Jaboticabal CEP 14884-900, SP, Brazil

daniel.cala@campusucc.edu.co (<mailto:daniel.cala@campusucc.edu.co>).

Copyright © 2025 Global Seafood Alliance

All rights reserved.