

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2025,
Volumen 9, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5

APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS RENOVABLES EN LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA DE LA ACUICULTURA CONTINENTAL PERUANA

**HARNESSING RENEWABLE RESOURCES FOR
SUSTAINABLE ENERGY USE IN PERUVIAN
CONTINENTAL AQUACULTURE**

Amancio Ramiro Rojas Flores
Universidad Nacional del Santa, Perú

Aprovechamiento de los Recursos Renovables en la Sostenibilidad Energética de la Acuicultura Continental Peruana

Amancio Ramiro Rojas Flores¹

arojas@uns.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-4897-7585>

Universidad Nacional del Santa

Nuevo Chimbote-Ancash-Perú

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue identificar, las zonas de producción acuícola continental en el Perú en relación al potencial uso de los recursos energéticos renovables para su aprovechamiento sostenible. Se empleó el método deductivo para identificar los principios fundamentales relacionados con sistemas de energía, e inductivo para llegar a un enunciado general, un sistema híbrido basado en energías renovables, la investigación es descriptiva, con enfoque cualitativo. Entre los hallazgos destacan: Las regiones, Piura y San Martín son las zonas con crecimiento sostenido de producción acuícola continental y con potencial solar y eólico, considerando al cultivo de la especie Tilapia en el análisis de la efectividad. El desafío de la sostenibilidad energética puede ser enfrentado mediante el aprovechamiento de recursos renovables, como sistemas híbridos de energía renovable (HRES); en la región San Martín: PV/ /generador diésel/batería y para la Región Piura PV//eólica/generador diésel/batería. Para una demanda de 2,5 kW y un consumo energético diario 60kWh; para Región San Martín: la demanda eléctrica con energía convencional se cubre con generador Diesel (GD) de 8,2 kW, costos operativos, \$14.358/año; alternativa añadir 9,0 kW PV y 35 kWh; en la Región Piura: atendida con energía convencional, Alternativa añadir 11 kW PV y 39 kWh.

Palabras clave: energía, recursos renovable, acuicultura continental, sostenibilidad

¹ Autor principal

Correspondencia: arojas@uns.edu.pe

Harnessing Renewable Resources for Sustainable Energy use in Peruvian Continental Aquaculture

ABSTRACT

The objective of this study was to identify inland aquaculture production areas in Peru in relation to the potential use of renewable energy resources for their sustainable use. The deductive method was used to identify the fundamental principles related to energy systems, and the inductive method was used to arrive at a general statement, a hybrid system based on renewable energy. The research is descriptive, with a qualitative approach. The findings include: The Piura and San Martin regions are areas with sustained growth in inland aquaculture production and with solar and wind potential, considering tilapia farming in the effectiveness analysis. The challenge of energy sustainability can be addressed through the use of renewable resources, such as hybrid renewable energy systems (HRES); in the San Martin region: PV/diesel generator/battery, and for the Piura region: PV/wind/diesel generator/battery. For a demand of 2.5 kW and a daily energy consumption of 60 kWh, the HRES is used. For the San Martin Region: electricity demand with conventional energy is covered by an 8.2 kW diesel generator (DG), operating costs \$14,358/year; alternatively, add 9.0 kW PV and 35 kWh; in the Piura Region: served by conventional energy, alternatively add 11 kW PV and 39 kWh.

Keywords: energy, renewable resources, continental aquaculture, sustainability

Artículo recibido 24 septiembre 2025

Aceptado para publicación: 29 octubre 2025



INTRODUCCIÓN

Los combustibles fósiles dominan actualmente el mercado energético y son causantes de cerca del 80% del suministro energético mundial (Puri et al 2023, p.18). Sin embargo, este tipo de recursos están disponibles en cantidades finitas y su agotamiento es motivo de preocupación. Las fuentes de energía renovables han atraído cada vez más atención porque ofrecen una solución eficaz para reducir las emisiones de GEI y satisfacer la creciente demanda energética de manera sostenible (Hassan et al. 2024). Las fuentes de energía son un desafío importante en países en desarrollo, particularmente en zonas rurales. Existen numerosas comunidades en desarrollo donde se encuentran disponibles recursos de energía renovable; su explotación puede fomentar el desarrollo económico y ventajas sociales y de salud, a la vez que se disminuyen los impactos al ambiente.

El tema que se aborda en este artículo es identificar la producción acuícola, uso de las energías convencionales y el aprovechamiento de los recursos renovables en la sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana desde una perspectiva sostenible, eficiente y competitiva.

El crecimiento de la acuicultura en las últimas décadas ha promovido el avance de producción de especies acuáticos en aguas continentales” (FAO, 2022, p.20). El incremento de costos de energía y huella de carbono asociada en el sector es motivo de creciente preocupación. Se utiliza una enorme cantidad de energía para los procesos de la cadena de valor de la acuicultura. (Murali et al., 2021). Las energías renovables se consideran como un enfoque para volverse menos dependiente de los combustibles fósiles (Rahman et al., 2022).

El sector pesquero y acuícola continúan considerándoles importantes fuentes de alimentos, e ingreso y forma de vida muchos millones de personas en el mundo (FAO, 2020). Según informes últimos elaborados por expertos y organizaciones internacionales coinciden en destacar el enorme potencial que tienen las aguas continentales y los océanos de “contribuir notablemente a asegurar la alimentación y adecuada nutrición de la población que se estima superará los 9 000 millones para el año 2050” (FAO,2020, p.102). Esto representa un gran desafío para garantizar que el aumento de la producción pesquera se logre de una manera sostenible

El desarrollo tecnológico y las características de generación con recursos energéticos renovables (RER) han madurado técnicamente. En el escenario de la experiencia de otros países respecto a la difusión de los RER.

En los últimos años el estado peruano ha fomentado el desarrollo de los proyectos de generación con RER, dando inicio en 2008, con la emisión de un marco normativo para la promoción de inversiones privadas y la adjudicación de proyectos de RER. (Vásquez y Tamayo, 2017, p.267)

Existe muchas experiencias, en torno de la utilización de recursos renovables en acuicultura, esta experiencia señala énfasis en solar y eólica, principalmente (Majeed et al., 2023).

Xu et al. (2023) han evaluado los beneficios y los impactos ambientales de la acuicultura en China en nueve indicadores que incluyen costos de la acuicultura (agua dulce, energía y uso de la tierra, gases de efecto invernadero, nitrógeno y emisiones de fósforo). Además de sus beneficios sociales, han destacado la necesidad de producir especies más sostenibles y utilizar energía más limpia. Bujas et al. (2022) analizaron cómo las fuentes de energía renovables pueden mejorar el respeto por el medio ambiente de este sector. Un factor clave para reducir el impacto ambiental será la integración de energías renovables y biocombustibles para satisfacer las demandas de energía en la granja acuícola.

(Zhang et al., 2024) en su estudio “Un enfoque de optimización para el diseño y operación de sistemas de recirculación acuícola (RAS), integrados con sistemas de energía híbridos sostenibles” plantearon el diseño de sistemas de energía sostenibles para la acuicultura, abordando las demandas energéticas específicas del sector. Desarrollaron un modelo de optimización para el diseño de sistemas de energía en RAS. La adopción de este modelo puede suponer una reducción de costes del 35% y un periodo de amortización de unos 7 años. Los resultados también demostraron que las estrategias de instalación a medida son esenciales para situaciones como la cría de peces de aguas cálidas en entornos de aguas frías y viceversa. El modelo permite el análisis sistemático de la sinergia entre la acuicultura, la energía y el medio ambiente y se demuestra por los beneficios anuales de reducción de carbono atribuidos a la generación de energía renovable.

Liu, et al., (2024). En el trabajo “Optimización de la operación colaborativa de agua y electricidad de un sistema de energía acuícola basado en almacenamiento por bombeo y fotovoltaico considerando los

efectos de la evaporación del agua” proponen una operación colaborativa de agua y electricidad de un sistema de energía acuícola basado en almacenamiento por bombeo fotovoltaico (PV). La energía fotovoltaica de la superficie del agua y el almacenamiento por bombeo se integran en el sistema para satisfacer las necesidades de electricidad, y el almacenamiento por bombeo sirve como un dispositivo de doble propósito para el suministro de agua y electricidad. Se establecen los requisitos del sistema de energía acuícola y de generación de agua y electricidad ambientalmente sostenibles.

El contexto el cual rige la investigación se encuentra circunscrito a la realidad de la dependencia de la energía en el avance de la acuicultura para que alcance su desarrollo sostenible. “La energía es insumo clave en la cadena de valor del pescado; Permite el almacenamiento, procesamiento, transporte y comercialización adecuados de los productos pesqueros (Puri et al., 2023, p.5).

De lo descrito surgió la siguiente interrogante ¿Cuál es efectividad de un sistema energético híbrido basado en recursos renovables en la sostenibilidad energética de la acuicultura continental peruana? la interrogante se convirtió en el objetivo general de la presente investigación aplicada, concibiendo como objetivos específicos los siguientes:

- identificar, las zonas de producción acuícola continental en el Perú en relación al potencial uso de los recursos energéticos renovables para su aprovechamiento sostenible.
- Describir el actual uso de las energías convencionales a partir del aprovechamiento de los recursos renovables en la producción acuícola

METODOLOGÍA

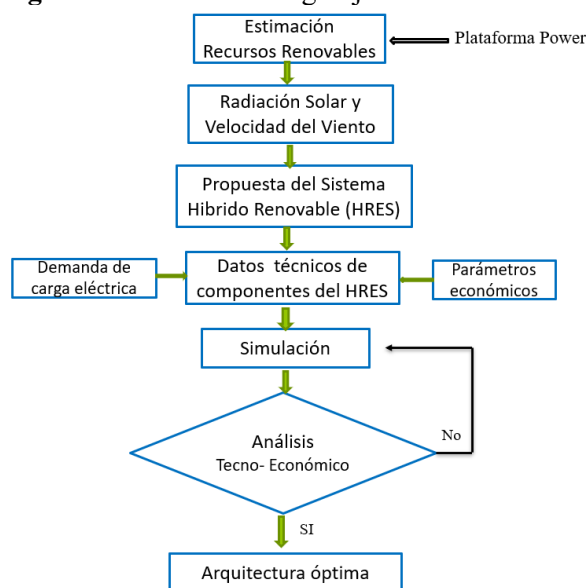
El enfoque de la investigación es cuantitativo del tipo descriptivo relacional usándose inicialmente el método deductivo para identificar los principios fundamentales relacionados con sistemas híbridos de energía, su aplicación en la acuicultura continental y las potenciales energías renovables que se podrían combinar según los lugares de estudio, luego se recopiló datos detallados sobre el sistema híbrido de energía. El análisis sirvió para generalizar conclusiones para aplicarlas a un contexto más amplio, centrado en detallar las características de un fenómeno, y las relaciones entre variables con un diseño no experimental transversal, la población está compuesta por centros de producción en acuicultura continental peruanos que usen sistemas energéticos convencionales y sistemas energéticos renovables, el tipo de muestra es no probabilística intencionada ya que se seleccionó según el criterio del

investigador.

Dadas las variables, que son cruzadas en esta investigación, con el propósito de obtener toda la pertenencia de variables, para contrastar la hipótesis, se realizó revisión bibliográfica para identificar herramientas de modelado energético potencialmente adecuadas. Estudios extraídos de revistas científicas y bases de datos académicas, la búsqueda se centró en estudios sobre la aplicación de energías renovables sostenibles en zonas rurales en desarrollo, permitiendo identificar varias capacidades clave a las que debían adherirse las herramientas con capacidad de modelado.

En cuanto a la técnica de procesamiento Se realizó un análisis exploratorio de información para obtener una comprensión inicial de las características de los datos, para ello se elaboraron gráficos descriptivos y tablas de resumen estadístico para la identificación de relaciones entre variables. Los datos fueron procesados mediante la aplicación de recursos como la realización de simulación mediante ordenador.

Figura 1 Análisis de una granja modelo



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Zonas de producción acuícola continental y los recursos energéticos renovables para su aprovechamiento sostenible

Perú posee con un alto potencial acuícola, basado en sus condiciones climáticas e hidrológicas tanto en el ámbito marino como continental (Saldarriaga y Regalado, 2017). Considerando los reportes del Ministerio de la Producción de los años 2013-2023 referente a la producción de la acuicultura (Tabla

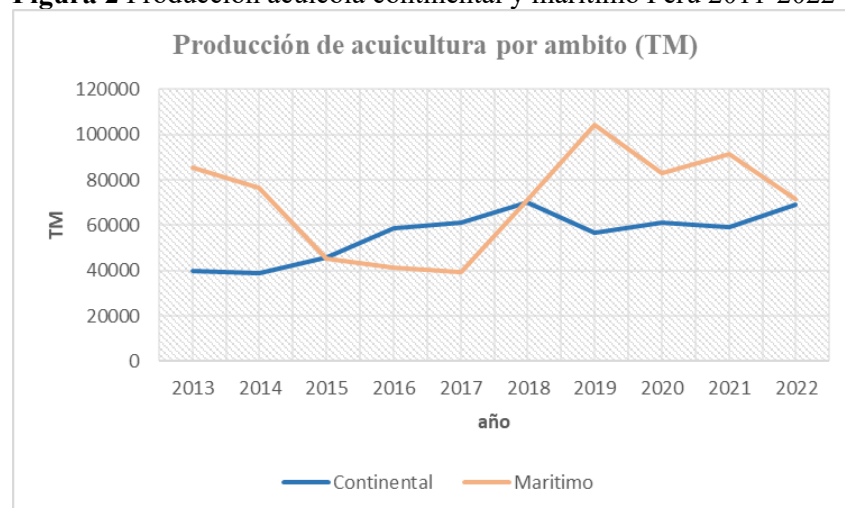
Nº1) se buscó determinar el ámbito para realizar el análisis de la efectividad de las energías renovables en la acuicultura.

Tabla 1 Cosecha procedente de la actividad de acuicultura por ámbito Perú 2013-2022 (TM)

Ámbito	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Continental	40068	38683	45758	58771	61028	70164	56915	61003	59385	69225
Marítimo	85625	76586	45218	41420	39427	71052	104330	82827	91437	71705

Nota: datos tomados de anuario estadístico pesquero y acuícola 2023

Figura 2 Producción acuícola continental y marítimo Perú 2011-2022



La producción en el ámbito continental es de crecimiento más sostenible (Figura 2), habiéndose incrementado en 72,77% desde 2013 al 2022. Según (Kleeberg,2019), referente a la acuicultura continental menciona que, en cuanto a la tilapia, las regiones de San Martín y Piura son los principales productores, observándose un crecimiento mayor en la primera.

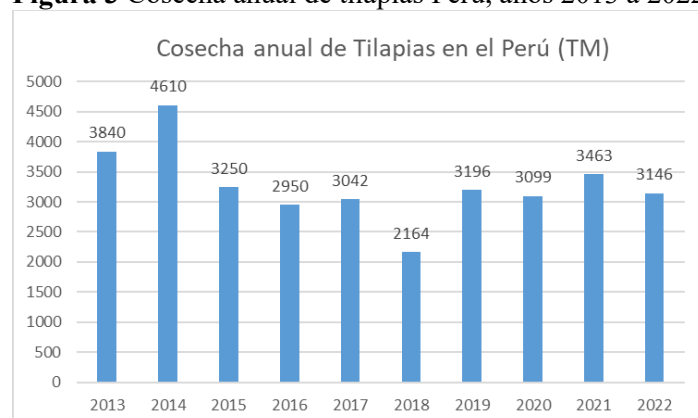
Para tener la certeza del análisis energético según la especie de cultivo acuícola y con el fin de determinar sus necesidades energéticas para su producción se contrastó dicha información con datos del ministerio de producción de los años 2016-2022 (Tabla Nº2).

Tabla 2 Recursos hidrobiológicos, actividad acuicultura-continental.

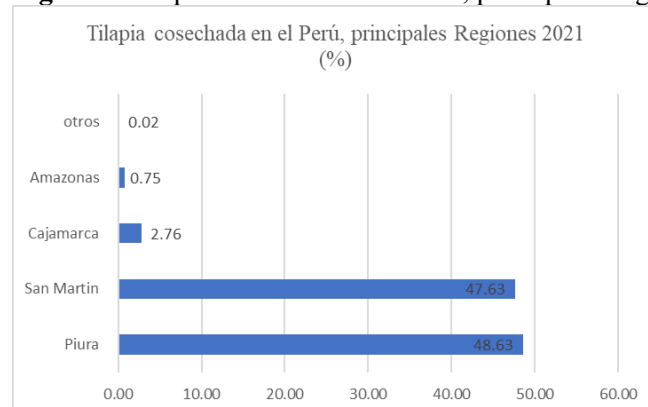
Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Boquichico	32	58	29	6	48	259	136
Camarón gig.de Malasia	34	26	29	27	27	25	25
Carachama	9	6	3	1	2	3	3
Carpa	4	5	4	0	...		0
Gamitana	1863	1047	952	787	881	852	844
Paco	1390	1624	2184	1871	2165	2695	3104
Pacotana/Gamipaco	11	35	14	...	...	2	..
Paiche	142	218	295	86	99	81	85
Tilapia	2950	3042	2164	3196	3099	3463	3146
Trucha	52245	54878	64372	50793	54188	51582	61573
Sábalo	87	84	113	148	494	420	309
Otros	4	6	4	1	0	2	0
Total	58771	61028	70164	56916	61003	59384	69225

Nota: Fuente Produce (2023)

La producción de tilapia, ha crecido a ritmos rápidos en los últimos años (Figura 3), alcanzando una cosecha total de 3463 toneladas en 2021.

Figura 3 Cosecha anual de tilapias Perú, años 2013 a 2022 en (TM)

En cuanto a la producción regional, se encuentra concentrada principalmente al norte del país, específicamente en las áreas de Piura y San Martín (Figura 4).

Figura 4 Tilapia cosechada en el Perú, principales regiones en el año 2021

Las regiones de Piura y San Martín son las dos principales regiones productoras de tilapias en el Perú (Juntas representan el 98% de la cosecha total del Perú)

recursos energéticos renovables de las zonas de mayor potencial acuícola continental del Perú.

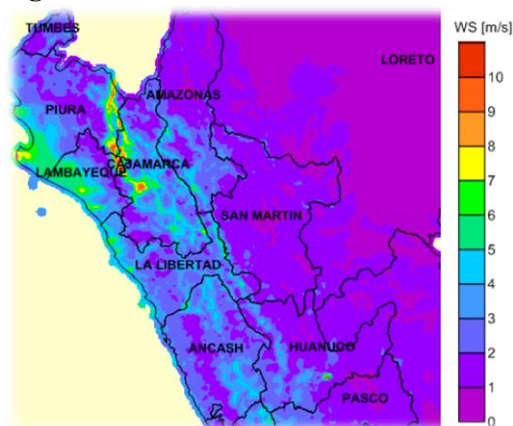
Valores globales para poder optar que recursos renovables presentan mayor disponibilidad y potencial regional para su aprovechamiento en la acuicultura continental, se presentan a continuación

Energía Eólica

Tabla 3 Potencial eólico (MW) en (100 m) según el Atlas Eólico.

Region	Potencial eólico aprovechable (MW)	Potencial eólico excluido (MW)	Potencial eólico total (MW)
Piura	7098	1503	8601
San Martín	0	0	0

Figura 5 Velocidad media anual del viento a 10 m



Fuente; atlas eólico, 2016

Energía solar

Según el plan energético Nacional 2014-2025, la energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en el territorio Nacional; según la clasificación allí hecha las regiones consideradas para el presente estudio están consideradas como medianamente rentable

Tabla 4 Radiación solar en las zonas de estudio.

Region	Radiación promedio anual (kWh/m ² –año)	Intervalo de radiación promedio anual (kWh/m ² –año)
Piura	4.4	5.63-6.73
San Martín	4	4.63-5.13

Fuente: Plan energético 2014-2025 MEM,

Por lo tanto, para fines de este estudio tenemos la siguiente disponibilidad de recursos energéticos renovables

Tabla 5 Propuesta de tecnología renovable para el sistema híbrido

Región	Tipo RER
Piura	Solar-eólico
San Martín	Solar

Como sostiene Dolores-Salinas & Miret-Pastor (2024) el sector pesquero es uno de los sectores productivos más importantes de la economía peruana. Al mismo tiempo, pero con características muy diferentes, el Perú cuenta con una importante industria acuícola que ha crecido en los últimos años. La acuicultura peruana, como cualquier otra, enfrenta importantes desafíos económicos, sociales y ambientales. Según CEPAL (2022) y PRODUCE (2023), en el periodo 1990-2022, el sector acuícola peruano pasó de producir 5 mil toneladas métricas (TM) en 1990 a una producción de más de 140 mil TM en 2022, 28 veces mayor que la cantidad inicial. Es oportuno resaltar el crecimiento productivo y el consumo interno de las especies acuícolas en la región amazónica peruana.

El Perú ha asumido compromisos de mitigación de GEI -como todos los países firmantes del Acuerdo de París- para que la temperatura mundial no aumente 2 °C al 2050. Perú asumió la meta de reducir las emisiones de GEI al 30% al 2030 (Campodónico y carrera,2022). Según Schmerler et al. (2019), el precio promedio ponderado adjudicado para proyectos de generación solar disminuyó en 78% y, para proyectos de generación eólica, disminuyó en 53% Asimismo, el precio de los proyectos de generación con biomasa disminuyó en 30% y el precio para pequeñas centrales hidroeléctricas, de menos de 20 MW, disminuyó en 27%. Esta tendencia indica que las fuentes RER son cada vez más competitivas. La conciencia global sobre las preocupaciones ecológicas ha aumentado a medida que los efectos tangibles de la degradación ambiental, incluido el calentamiento global, se vuelven más evidentes (Xu et al., 2024). En consecuencia, la sostenibilidad ambiental ha surgido como un problema global crítico, y los responsables de las políticas y los investigadores exploran soluciones innovadoras para frenar la contaminación ecológica. La innovación tecnológica se reconoce cada vez más como una solución crítica a los desafíos ambientales (Khan et al., 2024). Más allá de mitigar el daño ecológico, la

innovación tecnológica es fundamental para promover el desarrollo financiero y económico (Buonomano et al., 2023).

Estado del uso de los energéticos en la producción acuícola

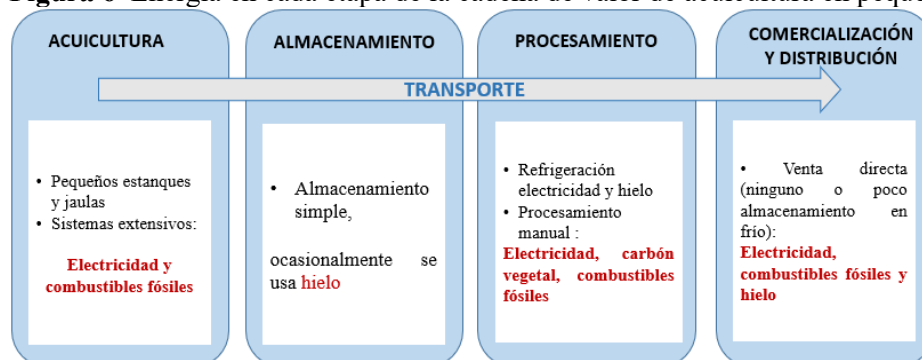
Uso de energía en la pesca y la acuicultura

Los sistemas alimentarios dependen de grandes cantidades de energía, en particular combustibles fósiles, para su productividad (Namany et al., 2019), siendo responsables de la tercera parte de las emisiones GEI (Crippa et al., 2021). No es posible alcanzar los objetivos climáticos nacionales e internacionales sin reducir las emisiones de los sectores alimentario y agrícola (Clark et al., 2020). El desafío radica en transformar los sectores alimentario y energético de una manera equitativa y ambientalmente sostenible, manteniendo al mismo tiempo la seguridad alimentaria (IRENA y FAO, 2021). El sector de la pesca y la acuicultura, incluida la producción pesquera (pesca de captura y acuicultura), el procesamiento posterior a la captura, la comercialización y la distribución, depende en gran medida del uso de energía, en particular en forma de combustibles fósiles (Muir, 2015). Las energías renovables in situ se están considerando como un enfoque para volverse menos dependiente de los combustibles fósiles (Rahman et al., 2022).

Estructura y uso de la energía a lo largo de la cadena de valor

La cadena de valor se caracteriza por el uso de baja tecnología, pequeños estanques o jaulas para la acuicultura. La Figura 6 detalla los principales tipos de energía utilizados en los diversos pasos de una cadena de valor típica a pequeña escala, correspondientes a los procesos específicos de etapa identificados.

Figura 6 Energía en cada etapa de la cadena de valor de acuicultura en pequeña escala



Uso global de energía en la acuicultura

Se consideran dos enfoques; uno basado en un enfoque simplificado de categorías de intensificación, asignado a diferentes regiones y grupos de especies, con equivalentes de combustible y estimaciones de energía total. El segundo utiliza datos de costos de producción y la proporción asignada a los costos de energía, junto con una categorización de especies y sistemas diferentes para desarrollar equivalentes globales.

Por sistema y entorno – equivalentes de combustible

La Tabla N°6 se desarrolla a partir de las categorías de intensificación de cinco etapas descritas anteriormente, con estimaciones equivalentes de insumos de energía relacionados con el alimento, el agua, la aireación y otros usos de energía. Esto se vincula con los volúmenes de producción reportados para producir las estimaciones regionales y globales del uso total equivalente de combustible.

Tabla 6 Categorías del sistema acuícola y consumos energéticos por tonelada de producción

Sistema Categoría	Caracterizado por	Entrada de energía por tonelada de producción	
		GJ	Combustible Equiv. (ton)
Extensiva	< de 0,5 toneladas/ha por año para peces, sustancialmente más para moluscos o algas	0	0
Semi Extensiva	0,5-5 ton/ha por año; Estanques normalmente tradicionales o mejorados, sistemas de jaulas.	25	0.5
Semi Intensiva	2- 20 ton/ha por año; normalmente en estanques mejorados, algunos sistemas de jaulas simples.	50	1
Intensiva	≤ 100 ton/ha por año; normalmente estanques, tanques, canales con intercambio de agua o jaulas.	75	1.5
Super Intensiva	≥ 1 000 toneladas/ha por año, tanques, pistas de rodadura con/sin recirculación o jaulas.	100	2

Nota: Valores estimados; 1kWh = 3.6 MJ; Fuente: FAO, 2015, como se citó en FAO,2023, p.12)

Para estimar los niveles equivalentes de combustible asociados con el consumo directo de combustible y electricidad, se consideran dos componentes principales:

- Combustible directo y electricidad involucrados en la producción (vehículos, bombas, aireadores, calefacción/refrigeración, insumos diversos, normalmente entre el 0,5 y el 5 por ciento de los costos operativos para todos, excepto los sistemas más intensivos (que contribuyen de manera insignificante a la producción global).
- Combustible involucrado en la recolección de materias primas, su procesamiento y distribución de los alimentos fabricados a los lugares de producción; la propia energía

alimentaria representa casi el 80 por ciento de la energía total en los sistemas intensivos y casi nada en los sistemas extensivos.

Según por J.F. Muir. Los niveles de combustible y electricidad varían ampliamente, Para los sistemas de jaulas y de reciclaje, los patrones son en términos generales similares, aunque para las jaulas de tilapia es probable que se utilice algo de combustible/electricidad, pero contenido dentro de “otros” costos.

Tabla 7 Uso global de energía en la acuicultura por tipo de sistemas

Tipo de sistema	Estanques intensivos de intercambio de agua limitado				Flujo continuo
Especies	Camarón	langostino	Tilapia	Bagre	Trucha
Productividad (kg/ha)	3 953	4 000	16 875	20 545	5 850
Costo total (USD/ha)	15 159	9 545	13 869	8 286	10 700
Costo fijo (% costo total)	10.4	2.3	7.8	3.2	25.6
Costo variable (% total)	89.6	97.7	92.2	96.8	74.4
Alimentación (% total)	41.8	54.9	71.6	75.7	43.4
Comb. y electricidad (% total)	16.6	8.4	2.2	0.8	2.5
Mano de obra (% total)	17.8	2.2	7.6	12.7	8.9
Ingresos totales (USD/ha)	20 792	13 078	17 189	10 703	16 205
Beneficio neto (USD/ha)	5 633	3534	3 320	2 417	5 558
Costo promedio (USD/kg)	4.04	2.38	0.74	0.4	1.82
Beneficio neto (USD/kg)	0.89	0.88	0.28	0.11	0.95

Nota. Tomado de Muir, J. F. (2015).

La Tabla N°8 resume algunas tasas de aplicación registradas anteriormente para aireación en sistemas de acuicultura.

Tabla 8 Capacidad de aireación instalada y uso de energía

Sistema	Funcion	capacidad	Notas
Tanques	Larvas	0,2–1 m3/h por m3	Uso de ciclo muy corto
	Reproductores	0,1–0,5 m3/h por m3	Sólo se puede utilizar periódicamente
	Uso general	0,05–0,3 m3/h por m3	Aireación suplementaria
Estanques semiintensivos	Cultivo de camaron	0,44 kW/ha; estanq, 1,12 ha	10 toneladas/ha por año, 2 cultivos, 20–30% intercambio de agua/día
	Cultivo de camaron	6 kW/ha ; estanq, 0,49 ha	16,5 toneladas/ha por año, 2,5 cultivos, 20% intercambio de agua/día
Estanques	Cultivo de carpa	4 kW/ha, estanques de 0,7 ha	Sistemas de estanques chinos
	Tilapia	Alrededor de 0,5 a 1 kW/ha	Aprox. 0,2 kW ton de pescado/año
	Bagre	34 000 kWh/ha/cultivo	2,82 kWh/kg producido, unos 4kW inst./ha
Estanques intensivos	cultivo de anguila	4,5 kW/ha, estanq de 0,2 ha	Producción 30 toneladas/ha-año, Taiwán
	cultivo de camaron	12 kW/ha, estanq de 0,25 ha	Rendimiento 13,2 toneladas/ha

Fuente (FAO,2015)

Uso de los recursos renovables en la acuicultura

Como bien sostiene Habibzadeh et al. (2025).El rápido agotamiento de los combustibles fósiles y la creciente preocupación por el cambio climático han impulsado al mundo hacia una coyuntura crítica en

la transición energética. En medio de este cambio de paradigma, los sistemas híbridos de energía renovable (HRES), en particular los que incorporan tecnologías de energía solar y eólica, han surgido como soluciones destacadas para abordar los desafíos de la sostenibilidad energética. Para Hansan et al. (2023), estos sistemas mitigan los problemas de intermitencia inherentes a las fuentes renovables individuales, mejorando la confiabilidad y estabilidad generales de la generación de energía. Al integrar estas fuentes, el suministro de energía se vuelve más constante, lo que reduce el riesgo carencia de energía durante condiciones climáticas adversas. Además, las tecnologías de almacenamiento de energía integradas en sistemas híbridos facilitan almacenar el excedente de energía durante los períodos de máxima producción (Superchi et al., 2025).

La energía renovable en la cadena de valor de la acuicultura puede adoptar la forma de una sustitución directa de la fuente de energía actualmente utilizada, o la mejora de la tecnología. La actualización a la acuicultura semiintensiva requerirá el uso de jaulas y estanques más grandes, sistemas de bombeo y aireadores. La mayoría de estas unidades funcionan con motores diésel y electricidad de la red (Muir, 2015). La fuente de energía de este tipo de equipos puede ser reemplazada por RER como sistemas fotovoltaicos y motores impulsados por biocombustibles (Suthisripok & Semsamran, 2018).

Diversos artículos científicos reportan el uso de energías renovables en la acuicultura, la Tabla N°9 presenta los usos en los últimos ocho años



Tabla 9 Usos de energías renovables en la acuicultura

Referencia	Tema/título	País	RER	Ventajas
Zhan et al. 2024	Optimización de circulación acuicola	China	Solar eólico	Optimización de sistemas y uso de fuentes de energía renovables
Shu et al. 2024	Pesca Fotovoltaica	China	Solar	Industria complementaria
Erdemir 2024	Generación de electricidad para la acuicultura	Canadá Turquía	Solar	Generación con energía renovable Para acuicultura sostenible
Chen y Gao 2023	La acuicultura industrializada en China	China	Solar Geot.	Optimización de sistemas y uso de fuentes de energía renovables
Matulic et al. 2023	Uso de la energía solar en la acuicultura	Croacia	Solar	Los recursos y los cultivos oportunidad para la acuicultura
Jamroen, 2022	Almacenamiento de energía fotovoltaico/batería flotante	Tailandia	Solar	El sistema PV/BES es la opción más factible para aireación
Vo et al. 2021	La energía solar para la acuicultura	Korea Vietnam	Solar	Los precios de energía disminuirán gracias a la energía renovable
Pesantez, et al. 2021	SolarFotovoltaico en el Sector Camaronero	Ecuador	Solar	Sistemas fotovoltaicos puede satisfacer demanda de energía
Neguyen et al. 2020	Sistema energético híbrido para la acuicultura	Vietnam	Solar eólico	El sistema produce oxígeno para la oxigenación
Maulana, et al. 2020	Energía hidroeléctrica para implementación en acuicultura	Kenia	Hidro	La energía hidroeléctrica podría abastecer necesidad energética
Cornejo-Ponce et al., 2020	Sistema IAcuicola (IARS) apoyado por Energía Solar	Chile	Solar	Cumple con 10 principios de la Economía Circular
Lee et al. 2020	Sistemas híbridos fotovoltaicos-hidroeléctricos	USA	solar hidro	este sistema presenta potenciales Beneficios para la acuicultura
Cheryl et al. 2019	Aplicación de RER en acuicultura	India	Solar eólica	Costo de producción se reduce aireación, bombeo de agua etc
Badiola et al. 2018	Uso de energía en sistemas acuícolas de recirculación	USA	Solar otras	Las energías renovables son de uso potencial en RAS
Pringle et al. 2017	Generación de energía solar fotovoltaica y la acuicultura	USA	Solar	El potencial para acuicultura solar fotovoltaica era prometedor

Comparación cuantitativa de las energías renovables en sistemas híbridos modelos

Podemos anotar que, en el 2014, “Produce” a través de la Dirección de Acuicultura, en el marco de implementación del Plan Nacional de Desarrollo Acuícola, desarrollo junto con la Universidad ESAN un Plan de Negocio con el propósito de determinar la viabilidad de un proyecto de producción y comercialización a escala industrial de tilapia (*Oreochromis niloticus*), para implementarse en el departamento de San Martín. El sistema tecnológico para la producción de tilapia en la zona, sería a través de estanques de tierra (Ministerio de Producción y Esan, 2018). En el estudio considera gastos por energía: combustibles S/.8000 y energía eléctrica de S/.8400 (p. 107)

Caracterización de la demanda de energía para granja modelo

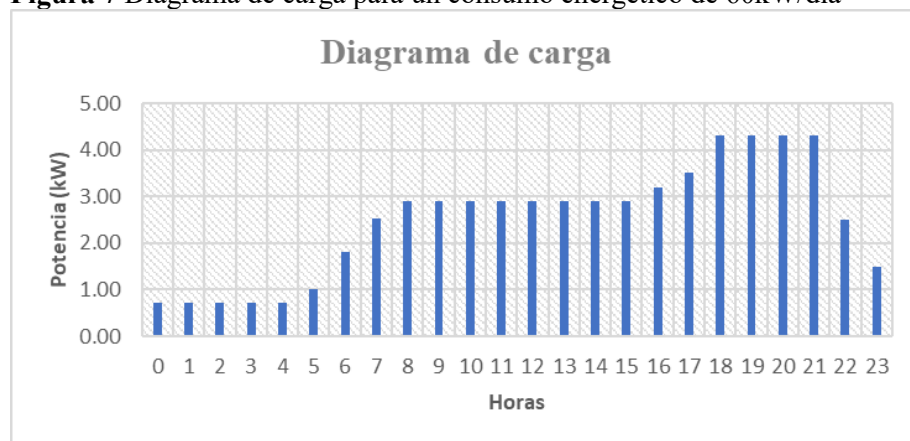
El perfil de demanda de la granja acuícola modelo está determinado por los periodos de consumo para un sistema con recirculación (RAS). Se considera un escenario con cargas básicas, según se muestra en la tabla

Tabla 10 Demanda y energía requerida escenario analizado

Cant	Equipo	Pot. Hp	Pot.total Kw	Energia Kwh al día
1	Aireador	1.5	1.12	26.9
1	bomba	1.5	1.12	26.9
	Otro		0.26	6.2
	Total		2.50	60.0

Nota: Según Jiménez. (2018), En sistemas de recirculación, el consumo eléctrico de los equipos tanto de aire como de circulación tiene que estar prendido 24 x 7

Figura 7 Diagrama de carga para un consumo energético de 60kW/día



Nota: HP=0.7457 kW

1kWh = 0.6 0 céntimos de sol

Análisis de granja acuícola modelo en lugares de mayor producción acuícola

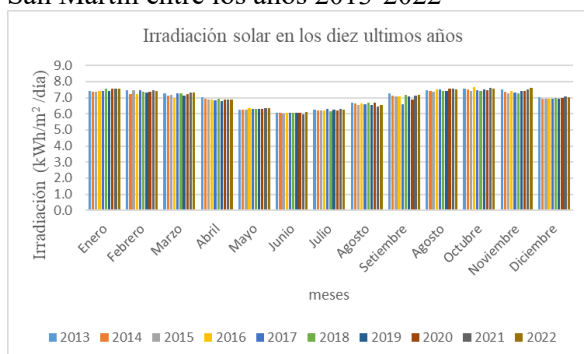
- Descripción de la granja acuícola modelo en la Región San Martín.

La acuícola considerada como modelo tiene autorización para desarrollar la actividad de acuicultura de menor escala, con la especie “Tilapia”, ubicada en las coordenadas: 06° 02’ 51.9” SUR 77° 03’ 39.1” OESTE (-6.04686, -77.06269) en el, Distrito Calzada, Provincia Moyobamba, Departamento de San Martín. **Latitud:** -6.04686 **Longitud:** 77.06269

Estimación del recurso renovable disponible.

Los valores del recurso solar y eólico se obtuvieron de la plataforma de Predicción de Recurso Energético Mundial (*Prediction of Worldwide Energy Resource - POWER*) (NASA, 2023). se obtuvo irradiación solar promedio diaria incidente en la zona donde se localiza la granja durante el año 2022, Se puede observar, los días de mayor irradiación solar se presentan en las estaciones de primavera y verano, es decir, entre los meses de septiembre y marzo.

Figura 8 Irradiación en la kW-hr/m² /día) Distrito Calzada, Provincia Moyobamba, Departamento de San Martín entre los años 2013-2022



Los niveles de insolación predominantes oscilan entre los 6 y 7.6 kWh/m² /día.

Para el recurso eólico, los datos disponibles corresponden en este caso, a registros de velocidad del viento promedio durante cada uno de los 365 días del año 2022, para una altura de 10 m. De esta información se deduce, como se muestra en la figura 9, que el potencial es pequeño como para considerarlo como una alternativa energética

Figura 9 Potencial eólico anual disponible en Distrito Calzada, Provincia Moyobamba,



De los datos anteriores se puede concluir que, la contribución de energía solar es aceptable, no así energía eólica ya que el valor promedio no supera ni siquiera la velocidad 1.2m/s

Propuesta del Sistema Híbrido Renovable.

Dadas las condiciones de disponibilidad de recursos renovables en la zona de ubicación de la granja acuícola modelo, el sistema híbrido renovable (HRES) propuesto para fines de investigación, estará formado por un módulo fotovoltaico, un generador diésel como sistema de respaldo y sistema de almacenamiento, Además, el sistema trabajará como un sistema aislado.

Tabla 11 Características del sistema propuesto-San Martin

Arquitectura			Modo de operación
Tecnología renovable	Sistema de almacenamiento	Sistema de respaldo	Sistema aislado
Fotovoltaica	Baterías	Generador diésel	

Análisis del sistema HRES

Para el proceso de modelado, simulación y optimización del HRES, se definieron las características técnicas, para consumo de 60kwh/día usando almacenamiento con baterías Plomo- ácido (LA).

Optimización técnica del HRES, para consumo energético de 60kWh/día

Se realizó el análisis de sensibilidad considerando la tasa de descuento nominal (TdN) de 6% y precio del combustible de 1 y 2 \$/L. Los resultados se detallan en las tablas 12 y 13

Tabla 12 Resultados para los parámetros establecidos

Sensibilidad		Arquitectura				Generador				PV	
TdN (%)	P.Comb. (\$/L)	PV (kW)	Gen (kW)	LA (1kWh)	Conver. (kW)	Prod. (kWh)	Comb. (L)	O&M (\$/año)	C. Comb. (\$/año)	C. Cap. (\$)	Prod. (kWh/año)
6	1	8,98	8,2	35	4,85	14 016	4 361	565	4 361	26 936	11 051
6	2	15,9	8,2	58	4	10 267	3 108	368	6 217	47 677	19 560

Cada uno de los resultados encontrados han sido optimizados, en un grupo de posibilidades

Tabla 13 Arquitecturas óptimas

Potencia 2,5 kW	Energía: 60 kWh/día	Potencia 2,5 kW	Energía: 60 kWh/día
TdN (%) = 6	P. comb. (\$/L) = 1	TdN (%) = 6	P. comb. (\$/L) = 2
Paneles fotovoltaicos	9 kW	Paneles fotovoltaicos	16 kW
Generador Diesel	8 kW	Generador Diesel	8 kW
Bateria (1kWh LA)	35	Bateria (1kWh LA)	58
Convertidor	5 kW	Convertidor	4 kW

Comparación cuantitativa en el uso de energías renovables

Las necesidades eléctricas usando energía convencional (Grupo Diesel), se cubren con un generador de 8,2 kW. Sus costos operativos de energía ascienden actualmente a \$14.358 al año. la alternativa es añadir 9,0 kW de energía fotovoltaica y 35 kWh de capacidad de batería. Esto reduciría sus costos operativos a \$7565 al año

-Granja acuícola modelo en la Región Piura

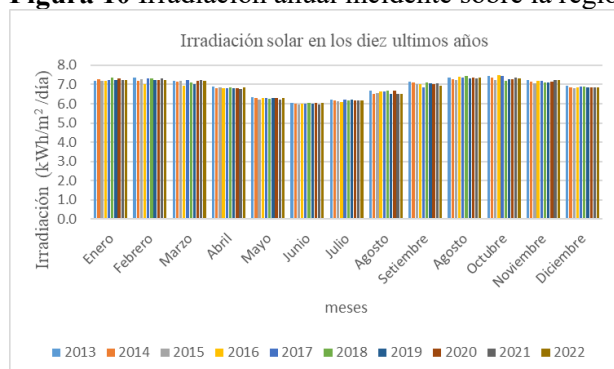
Para el análisis del sistema híbrido en la Región Piura se ha tomado como referencia la información del Catastro Acuícola Nacional <http://catastroacuicola.produce.gob.pe/web/>

En la cual se pudo verificar que el mayor desarrollo acuícola continental se encuentra entre Los distritos de Tambo grande y las Lomas. Se ha tomado una muestra de derechos otorgados para el cultivo de tilapia considerando 10 de ellos entre las zonas de las Lomas y Tambo Grande. Las coordenadas **WGS84** medias para poder analizar el potencial de energías renovables más apropiadas para esta zona Latitud: - 04.78 Longitud: - 80.30

Estimación del recurso renovable disponible.

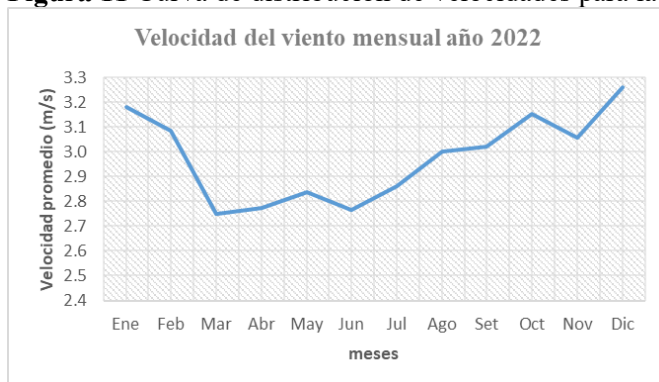
De similar forma que el caso anterior el potencial de RER se obtuvieron de la plataforma (*Prediction of Worldwide Energy Resource - POWER*). Con las consideraciones realizadas para la zona de estudio, se obtuvo la irradiación promedio diaria incidente en la zona donde se localiza la granja, durante el año 2022. Como se puede observar, los días de mayor insolación se presentan, entre los meses verano y primavera. En el análisis de los datos para esta zona de estudio se puede determinar que los niveles de irradiación predominantes entre los 6 y 7.4 kWh/m²/día.

Figura 10 Irradiación anual incidente sobre la región bajo estudio en Piura



Respecto al recurso eólico, los datos corresponden en este caso, a registros de velocidad del viento promedio durante cada uno de los 365 días del año 2022, para una altura de 10 m. La curva de velocidades de la figura 11 muestra que las velocidades predominantes varían entre los 2.8 y 3.3 m/s. determinándose una velocidad promedio de 3m/s

Figura 11 Curva de distribución de velocidades para la zona bajo estudio en Piura.



Selección del Sistema Híbrido Renovable en la región Piura

El sistema híbrido renovable propuesto para esta zona de estudio en la región Piura, estará formado por un módulo fotovoltaico, un módulo eólico, un generador diésel como sistema de respaldo y un sistema de almacenamiento. Además, el sistema trabajará como un sistema aislado,

Tabla 14 Características del HRES propuesto. en la Región Piura

Arquitectura			Modo de operación
Tecnología renovable	Sistema de almacenamiento	Sistema de respaldo	Sistema aislado
Fotovoltaica	Baterías	Generador diésel	
Eólica			

Región Piura: Análisis del HRES

Similar al caso analizado anteriormente para los diversos procesos de optimización del HRES, se definieron las características técnicas y económicas de los componentes para la demanda energética: 60kwh/día y almacenamiento tipo Plomo- ácido (LA).

Optimización técnica del HRES. Consumo energético de 60kWh/día

Análisis de sensibilidad considerando el precio del combustible de 1 y 2 \$/L y la velocidad del viento de 3m/s.

Tabla 15 Consecuencia del análisis de sensibilidad para E-1AP.

Tabla 15. Consecuencia del análisis de sensibilidad para E-1A1.														
Sensibilidad		Arquitectura						Generador			PV		G1	
P. Comb.	V _{viento}	PV	G1	Gen	LA	Conver.	Prod.	Comb.	O&M	C. Comb.	C. Cap.	Prod.	C. Cap.	Prod.
(\$/L)	(m/s)	(kW)	Cant	(kW)	(1kWh)	(kW)	(kWh)	(L)	(\$/año)	(\$/año)	(\$)	kWh/año	(\$)	kWh/año
1	3,0	10,9		8	39	3	8 787	3 225	618	3 225	32 763	17 863	...	...
2	3,0	20,8			103	8					62 324	39 980	...	...

Tabla 16 Arquitectura óptima para E-1AP

Potencia 2,5 kW	Energía: 60 kWh/día	Potencia 2,5 kW	Energía: 60 kWh/día
P. comb. (\$/L) = 1	V _{viento} prom. (m/s) = 3	P. comb. (\$/L) = 2	V _{viento} prom. (m/s) = 3
Paneles fotovoltaicos	11 kW	Paneles fotovoltaicos	21 kW
Generador Diesel	8 kW	Generador Diesel	8 kW
Batería (1kWh LA)	39,0	Batería (1kWh LA)	103
Convertidor	3,5 kW	Convertidor	8 kW

De manera similar a lo realizado en San Martín, en la región Piura, se realizó el análisis de sensibilidad considerando la velocidad del viento y precio de combustible de \$1/L.

Para el caso analizado, debido a que solo se consideraron 2,5 kW y una energía diaria de 60 kWh, con almacenamiento mayormente tipo (LA). Las necesidades eléctricas usando energía convencional (Grupo Diesel), se atienden con un generador de 8,2 kW. Sus costos operativos de energía ascienden actualmente a \$14.358 al año. la alternativa es añadir 11 kW de energía fotovoltaica y 39 kWh de capacidad de batería. Esto reduciría sus costos operativos a \$5,976/año.

De esta manera llevamos adelante un razonamiento similar a Eze et al. (2024), quienes diseñaron un sistema de energía renovable híbrido tecnoeconómico sostenible (STHRES) que combina energía solar fotovoltaica y turbinas eólicas, con respaldo de batería, para satisfacer las necesidades energéticas de la isla Sigulu en Uganda. Los paneles solares y las turbinas eólicas se identificaron como las opciones más viables, y el sistema incorpora 677 unidades de paneles solares de 1 kW y 27 unidades de turbinas eólicas de 1 kW, que generan 839,97 kW y 640,08 kW diarios, respectivamente.

De modo análogo, Sadeghi et al. (2024), diseñó un marco renovable híbrido optimizado con costos mínimos y la máxima confiabilidad, utilizando un modelo integral basado en dos estrategias de gestión de la energía. Las variables de toma de decisiones en este trabajo fueron el tipo y número de turbinas eólicas, el número de unidades de almacenamiento, la capacidad de los paneles solares y la capacidad del generador de biogás. Finalmente, los marcos híbridos óptimos se compararon económica y ambientalmente con un generador diésel independiente. Los resultados de la optimización confirmaron la superioridad del sistema híbrido de energía eólica, solar, biomasa y batería propuesto en comparación con otros sistemas investigados. Una idea similar puede encontrarse en Youssef et al. (2023) quienes diseñaron un sistema de energía renovable eficiente que satisfaga las demandas de electricidad requeridas en New Cairo, Egipto, se diseñaron, simulon y optimizaron ocho modelos distintos de

sistemas híbridos de energía renovable para satisfacer la carga requerida en este estudio. Para los recursos eólicos y solares, la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) proporcionó los datos de entrada; para los recursos de biomasa, se utilizaron datos de campo en tiempo real para el sitio de estudio seleccionado. En este estudio, se utilizaron baterías de iones de litio y de plomo-ácido para elegir la opción más rentable. Los generadores fotovoltaicos, eólicos y de biomasa del sistema de energía híbrido se utilizaron para satisfacer la demanda de carga.

CONCLUSIONES

Los hallazgos principales del estudio son los siguientes:

Las regiones de Piura y San Martín son las zonas con crecimiento sostenido de producción acuícola continental peruana y con potencial solar y eólico, considerando al cultivo de la especie Tilapia en el análisis de la efectividad de las energías renovables en la acuicultura.

El desafío de la sostenibilidad energética puede ser enfrentado mediante el aprovechamiento de recursos renovables, con el empleo de sistemas híbridos de energía renovable (HRES) como alternativa energética para el desarrollo de la acuicultura en la región San Martín: PV/ /generador diésel/batería y para la Región Piura PV//eólica/generador diésel/batería. Para el análisis, se consideró una demanda de 2,5 kW y un consumo energético diario 60kWh

La comparación técnica cuantitativa para HRES-Región **San Martín**: la demanda eléctrica con energía convencional se cubre con generador Diesel (GD) de 8,2 kW, costos operativos, \$14.358/año; alternativa añadir 9,0 kW PV y 35 kWh-LA. HRES-Región **Piura**: atendida con energía convencional tal como San Martín: Alternativa añadir 11 kW PV y 39 kWh-LA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Badiola, M., Basurko, O. C., Piedrahita, R., Hundley, P., & Mendiola, D. (2018). Energy use in recirculating aquaculture systems (RAS): a review. *Aquacultural engineering*, 81, 57-70.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.03.003>

Bharathi, S., Cheryl, A., Uma, A., Ahilan, B., Aanand, S., & Somu Sunder Lingam, R. (2019). Application of renewable energy in aquaculture. *Aqua International*, 48-54.

<https://www.researchgate.net/publication/331716127>



- Bujas, T., Koričan, M., Vukić, M., Soldo, V., Vladimir, N., & Fan, A. (2022). Review of energy consumption by the fish farming and processing industry in Croatia and the potential for zero-emissions aquaculture. *Energies*, 15(21), 8197 <https://doi.org/10.3390/en15218197>
- Buonomano, A., Barone, G., & Forzano, C. (2023). Latest advancements and challenges of technologies and methods for accelerating the sustainable energy transition. *Energy Reports*, 9, 3343–3355 <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.02.015>
- Campodónico, H., & Carrera, C. (2022). Energy transition and renewable energies: Challenges for Peru. *Energy Policy*, 171, 113261. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113261>
- CEPAL. (2024). *CEPALSTAT Bases de Datos y Publicaciones Estadísticas. Producción Acuicola*. <https://statistics.cepal.org/portal/cepalstat/dashboard.html?lang=es>
- Chen, W., & Gao, S. (2023). Current status of industrialized aquaculture in China: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(12), 32278-32287. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-25601-9>
- Clark, M. A., Domingo, N. G., Colgan, K., Thakrar, S. K., Tilman, D., Lynch, J., ... & Hill, J. D. (2020). Global food system emissions could preclude achieving the 1.5 and 2 C climate change targets. *Science*, 370(6517), 705-708. <https://doi.org/10.1126/science.aba7357>
- Cornejo-Ponce, L., Vilca-Salinas, P., Lienqueo-Aburto, H., Arenas, M. J. (2020). Integrated aquaculture recirculation system (IARS) supported by solar energy as a circular economy alternative for resilient communities in arid/semi-arid zones in southern South America: A case study in the Camarones town. *Water*, 12(12), 3469 <https://doi.org/10.3390/w12123469>
- Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Monforti-Ferrario, F., Tubiello, F. N., & Leip, A. J. N. F. (2021). Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature food*, 2(3), 198-209. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00225-9>
- Dolores-Salinas, E., & Miret-Pastor, L. (2024). Environmental certifications in Peruvian aquaculture. *Aquaculture Reports*, 38, 102314. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102314>
- Erdemir, D., & Dincer, I. (2024). Development of renewable energy based green hydrogen and oxygen production and electricity generation systems for sustainable aquaculture. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140081. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140081>



- Eze, V. H. U., Mwenyi, J. S., Ukagwu, K. J., Eze, M. C., Eze, C. E., & Okafor, W. O. (2024). Design analysis of a sustainable techno-economic hybrid renewable energy system: Application of solar and wind in Sigulu Island, Uganda. *Scientific African*, 26, e02454.
<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02454>
- FAO. 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma.
<https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- FAO. 2022. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*[El estado de la pesca y la acuicultura en el mundo 2022] *Towards Blue Transformation*. Rome, FAO.
<https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Habibzadeh, S., Astarai, F. R., & Jahangir, M. H. (2025). Sustainability assessment of a petrochemical plant electricity supply based on 4E optimization of various hybrid renewable energy systems scenarios. *Energy Conversion and Management*, 325, 119357.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.119357>
- Hassan, Q., Sameen, A. Z., Salman, H. M., Jaszczur, M., & Al-Jiboory, A. K. (2023). Hydrogen energy future: Advancements in storage technologies and implications for sustainability. *Journal of Energy Storage*, 72, 108404.
<https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108404>
- Hassan, Q., Viktor, P., Al-Musawi, T. J., Ali, B. M., Algburi, S., Alzoubi, H. M., ... & Jaszczur, M. (2024). The renewable energy role in the global energy Transformations. *Renewable Energy Focus*, 48, 100545.
<https://doi.org/10.1016/j.ref.2024.100545>
- IRENA and FAO. 2021. Renewable energy for agri-food systems – Towards the Sustainable Development Goals and the Paris agreement. Abu Dhabi and Rome.
<https://doi.org/10.4060/cb7433en>
- Jamroen, C. (2022). Optimal techno-economic sizing of a standalone floating photovoltaic/battery energy storage system to power an aquaculture aeration and monitoring system. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 50, 101862.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101862>



- Khan, H. H. A., Ahmad, N., Yusof, N. M., & Chowdhury, M. A. M. (2024). Green finance and environmental sustainability: A systematic review and future research avenues. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 9784–9794.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-31809-6>
- Kleeberg, F. (2019). Productividad y competitividad del sector acuícola en el Perú. CIEPLAN, Santiago.
<https://www.cultura-ciudadana.org/wp-content/uploads/2020/05/PAPER-FERNANDO-KLEEBOERG.pdf>
- Lee, N., Grunwald, U., Rosenlieb, E., Mirletz, H., Aznar, A., Spencer, R., & Cox, S. (2020). Hybrid floating solar photovoltaics-hydropower systems: Benefits and global assessment of technical potential. *Renewable Energy*, 162, 1415-1427.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.080>
- Liu, G., Arthur, M., Viglia, S., Xue, J., Meng, F., & Lombardi, G. V. (2020). Seafood-energy-water nexus: A study on resource use efficiency and the environmental áreas seafood consumption in China. *Journal of Cleaner Production*, 277, 124088.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124088>
- Majeed, Y., Khan, M. U., Waseem, M., Zahid, U., Mahmood, F., Majeed, F., ... & Raza, A. (2023). Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture. *Energy Reports*, 10, 344-359. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.06.032>
- Matulić, D., Andabaka, Ž., Radman, S., Fruk, G., Leto, J., Rošin, J., ... & Karoglan, M. (2023). Agrivoltaics and Aquavoltaics: Potential of Solar Energy Use in Agriculture and Freshwater Aquaculture in Croatia. *Agriculture*, 13(7), 1447.
<https://doi.org/10.3390/agriculture13071447>
- Maulana, D. W., Rizwan, F. M., Mulyana, C., Faizal, F., Panatarani, C., & Joni, I. M. (2020, June). Gravitational water vortex pico hydro power modeling for aquaculture implementation. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1568, No. 1, p. 012016). IOP Publishing.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1568/1/012016/meta>



- Pesantez, J. P., Ríos Villacorta, A., & Redrován, J. G. (2021). Integración de Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Sector Camaronero Intensivo y Extensivo del Ecuador: Caso de Estudio en la Provincia de El Oro. *Revista Politécnica*, 47(2), 7-1 <https://doi.org/10.33333/rp.vol47n2.01>
- Pringle, A. M., Handler, R. M., & Pearce, J. M. (2017). Aquavoltaics: Synergies for dual use of water area for solar photovoltaic electricity generation and aquaculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 572-584. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.191>
- Puri, M., Kojakovic, A., Rincon, L., Gallego, J., Vaskalis, I. & Maltoglou, I. (2023). *The small-scale fisheries and energy nexus – Opportunities for renewable energy interventions* [El nexo entre la pesca en pequeña escala y la energía: oportunidades para intervenciones en materia de energía renovable]. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc4903en>
- Rahman, M. M., & Alam, K. (2022). The roles of globalization, renewable energy and technological innovation in improving air quality: Evidence from the world's 60 most open countries. *Energy Reports*, 8, 9889-9898. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.07.165>
- Sadeghi, A., Maleki, A., & Haghighat, S. (2024). Techno-economic analysis and optimization of a hybrid solar-wind-biomass-battery framework for the electrification of a remote area: A case study. *Energy Conversion and Management: X*, 24, 100732. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100732>
- Saldarriaga, M., & Regalado, F. A. (2017). Potencial acuícola en el Perú. *Revista Moneda*, (172), 34-39. <https://www.bcrp.gob.pe/publicaciones/revista-moneda/revista-moneda-172.html>
- Schmerler, Daniel; Velarde, José Carlos; Rodríguez, Abel y Solís, Ben (Editores) (2019). Energías renovables: experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética. Osinergmin. Lima-Perú. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/606976/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf?v=1587587593>
- Zhu, Z., Song, Z., Xu, S., Wang, S., Chen, X., Wang, Y., & Zhu, Z. (2024). The development of fishery-photovoltaic complementary industry and the studies on its environmental, ecological and economic effects in China: a review. *Energy Nexus*, 100316. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2024.100316>



- Superchi, F., Moustakis, A., Pechlivanoglou, G., & Bianchini, A. (2025). On the importance of degradation modeling for the robust design of hybrid energy systems including renewables and storage. *Applied Energy*, 377, 124645. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124645>
- Suthisripok, T., & Semsamran, P. (2018). The impact of biodiesel B100 on a small agricultural diesel engine. *Tribology International*, 128, 397-409.
<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.07.042>
- Vásquez, Arturo; Tamayo, Jesús y Julio Salvador (Editores) (2017). La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático. Osinergmin. Lima-Perú.
https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energia-Renovable-Peru-10anios.pdf
- Vo, T. T. E., Ko, H., Huh, J. H., & Park, N. (2021). Overview of solar energy for aquaculture: The potential and future trends. *Energies*, 14(21), 6923.
<https://doi.org/10.3390/en14216923>
- Xu, R., Farooq, U., Alam, M. M., & Dai, J. (2024). How does cultural diversity determine green innovation? New empirical evidence from Asia region. *Environmental Impact Assessment Review*, 106, Article 107458. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107458>
- Youssef, A. A., Barakat, S., Tag-Eldin, E., & Samy, M. M. (2023). Islanded green energy system optimal analysis using PV, wind, biomass, and battery resources with various economic criteria. *Results in Engineering*, 19, 101321.
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101321>
- Zhang, R., Chen, T., Wang, Y., & Short, M. (2023). Systems approaches for sustainable fisheries: A comprehensive review and future perspectives. Sustainable production and consumption. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.08.013>

