

Aplicación de estrategias productivas para sustituir motores de combustión interna por eléctricos en “ASOMUNUE”, parroquia Mariscal Sucre, Milagro.

Application of production strategies to replace internal combustion engines with electric motors in ASOMUNUE, Mariscal Sucre parish, Milagro, Ecuador.

Luis Ángel Bucheli Carpio ^{1*} ; Jesús Armando Verdugo Arcos ² ; Carlos Daniel Campoverde Pillajo ³

Recibido: 02/08/2025 – Aceptado: 15/10/2025 – Publicado: 01/01/2026

Artículos de
Investigación



Artículos de
Revisión



Artículos de
Ensayos



* Autor para
correspondencia.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0). Los autores conservan los derechos sobre sus artículos y pueden compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra, siempre que se reconozca la autoría, no se utilice con fines comerciales y se mantenga la misma licencia en obras derivadas.

Resumen.

La transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles se ha convertido en una prioridad en diversos sectores, especialmente en la agricultura, donde los motores de combustión interna desempeñan un papel importante en las operaciones de riego. Estos motores, aunque funcionales y ampliamente utilizados, generan emisiones significativas de gases de efecto invernadero y dependen de combustibles fósiles, contribuyendo así al calentamiento global y al deterioro ambiental. En este contexto, el reemplazo de estos motores por sistemas eléctricos conectados a redes de distribución con transformadores ofrece una solución innovadora y ambientalmente responsable. Este artículo analiza los aspectos técnicos y económicos de dicha transición, destacando los beneficios que incluyen una notable reducción de las emisiones de carbono, menores costos operativos a largo plazo y una disminución de la contaminación sonora. Asimismo, se abordan los desafíos asociados, como la necesidad de instalar una infraestructura eléctrica adecuada, garantizar la estabilidad del suministro energético en áreas rurales y adaptar los sistemas de riego a los nuevos motores. Este enfoque no solo promueve la ecoeficiencia, sino que también fortalece el compromiso de la agricultura con el desarrollo sostenible.

Palabras clave.

Energía Sostenible, Agricultura, Motores de Combustión Interna, Calentamiento Global, Contaminación Ambiental.

Abstract.

The transition towards cleaner and more sustainable energy sources has become a priority in various sectors, especially in agriculture, where internal combustion engines play an important role in irrigation operations. These engines, while functional and widely used, generate significant greenhouse gas emissions and rely on fossil fuels, thus contributing to global warming and environmental degradation. In this context, replacing these engines with electric systems connected to distribution networks with transformers offers an innovative and environmentally responsible solution. This article analyzes the technical and economic aspects of this transition, highlighting the benefits that include a notable reduction in carbon emissions, lower long-term operational costs, and decreased noise pollution. Additionally, it addresses the associated challenges, such as the need to install adequate electrical infrastructure, ensure energy supply stability in rural areas, and adapt irrigation systems to the new motors. This approach not only promotes eco-efficiency but also strengthens agriculture's commitment to sustainable development.

Keywords.

Agriculture, Environmental Pollution, Global Warming, Internal Combustion Engines, Sustainable Energy.

1.- Introducción

La agricultura es uno de los sectores que más recursos naturales consume y, a su vez, uno de los que más contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero, particularmente a través del uso de motores de combustión interna en sistemas de riego. Estos motores, que funcionan principalmente con combustibles fósiles como diésel o gasolina, han sido una solución tradicional para el riego en fincas debido a su capacidad de operar en áreas remotas. Sin embargo, sus impactos negativos sobre el medio ambiente y los crecientes costos de los combustibles plantean la necesidad de buscar alternativas más sostenibles. En este contexto, el reemplazo de motores de combustión interna por motores eléctricos conectados a redes con

transformadores surge como una alternativa eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

Este cambio no solo representa un avance tecnológico en el sector, sino también una oportunidad para reducir la huella de carbono de la agricultura, optimizar los costos operativos y mejorar la calidad de vida de los productores agrícolas al eliminar la contaminación sonora y simplificar el mantenimiento de los equipos. Este artículo explora en detalle las ventajas de esta transición, como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y el aprovechamiento de energía eléctrica sostenible, así como los desafíos técnicos, como la adaptación de la infraestructura eléctrica en zonas rurales y las inversiones iniciales necesarias. Además, se presentan consideraciones clave para implementar esta solución de manera efectiva,

¹ Afiliación: Universidad Estatal de Milagro; lbuchelic@unemi.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0003-2277-603X>, Milagro; Ecuador.

² Afiliación: Universidad Estatal de Milagro; jverdugoal@unemi.edu.ec; <https://orcid.org/0009-0006-7103-412X>, Milagro; Ecuador.

³ Afiliación: Universidad Estatal de Milagro; ccampoverdep1@unemi.edu.ec; <https://orcid.org/0009-0000-4466-3584>, Milagro; Ecuador.

posicionando a la agricultura como un actor clave en la lucha contra el cambio climático y la adopción de prácticas ecoeficientes.

1.1.- Contexto y relevancia:

El presente proyecto de investigación se refiere a la instalación de un sistema eléctrico para la operación de una bomba sumergible destinada al sistema de riego en una finca de 7 hectáreas llamada Hacienda Emanuel Los Palmares, Provincia de Guayas, a las afueras de Mariscal Sucre, Milagro. Coordenadas UTM: 667810.20 m E; 9768632.65 m S

La distancia desde el poste de distribución hacia el pozo es de 60 metros, con un perímetro de instalación del poste cerca del pozo de 15m. El sistema de riego se distribuirá en tuberías de 8 a 10 pulgadas de diámetro, con una separación entre cada sistema de riego de 8 a 10 metros.



Figura 1: Vista aérea de la Hacienda. Fuente: Google Earth.

1.2.- Estado del arte:

El avance hacia una transición energética sostenible en entornos rurales representa una estrategia clave para mitigar el cambio climático y reducir las desigualdades estructurales en el acceso a servicios energéticos. Diversos estudios científicos coinciden en que el reemplazo de tecnologías basadas en combustibles fósiles por sistemas eléctricos de baja emisión puede generar beneficios ambientales, económicos y sociales de gran alcance, especialmente en comunidades con pobreza energética.

En este contexto, investigaciones recientes han demostrado que: “Las transiciones energéticas sostenibles basadas en fuentes renovables han demostrado reducir significativamente la huella de carbono per cápita en regiones con altos niveles de pobreza energética” [1]. Esta afirmación se alinea con los objetivos del presente estudio, que propone el cambio de motores diésel por motores eléctricos trifásicos en el sistema de riego agrícola de la asociación ASOMUNUE.

Complementariamente, se ha comprobado que: “Las tecnologías renovables descentralizadas pueden proporcionar acceso básico a la electricidad a una fracción del costo de las extensiones de red” [2]. Esto refuerza la viabilidad técnica y financiera del uso de motores eléctricos

en el sector agrícola, como alternativa eficiente a los sistemas de combustión interna.

Asimismo, aunque el presente estudio se enfoca en sistemas de riego, los principios de eficiencia energética son aplicables en múltiples ámbitos rurales. Por ejemplo: “Las tecnologías de cocción energéticamente eficientes, como las estufas mejoradas, pueden reducir hasta un 70% la huella de carbono en comparación con métodos tradicionales basados en biomasa no sostenible” [3]. Esta comparación ilustra cómo la eficiencia energética representa un mecanismo transversal de mitigación ambiental en entornos rurales.

Más allá del aspecto climático, el acceso a tecnologías limpias también se traduce en beneficios en salud. De hecho, “La falta de acceso a energía limpia incrementa la exposición a contaminantes intradomiciliarios, afectando la salud respiratoria” [4]. Esto justifica desde una perspectiva de justicia ambiental la sustitución de motores contaminantes por soluciones eléctricas, como la propuesta en ASOMUNUE.

No obstante, la sostenibilidad energética no está exenta de desafíos. Algunos estudios alertan sobre los compromisos entre el carbono y el agua, ya que “La expansión solar reduce carbono, pero puede aumentar significativamente el consumo de agua en zonas áridas” [5]. En este sentido, el análisis de ciclo de vida (ACV) se vuelve fundamental para evaluar impactos cruzados. En el presente artículo se utiliza ACV para calcular las emisiones evitadas, y se promueve una gestión hídrica eficiente mediante la optimización del sistema de riego electrificado [6].

Esta integración de tecnología sostenible en contextos rurales, como ASOMUNUE, se enmarca en una tendencia global. Se ha documentado que las “Las transiciones energéticas sostenibles han reducido significativamente la huella de carbono per cápita en regiones con altos niveles de pobreza energética” [7]. A ello se suma la evidencia de que “Las prácticas agrícolas inteligentes frente al clima también mejoran la eficiencia energética y reducen la demanda de agua” [8]

Además, la implementación de “Las microrredes rurales bien diseñadas pueden mejorar el acceso energético y reducir la huella de carbono si se basan en fuentes renovables locales” [9]

Sin embargo, la necesidad de esta transición queda aún más clara si se consideran los efectos negativos del modelo energético basado en combustibles fósiles. Por ejemplo, en Somalia se ha demostrado que el aumento en “El consumo de energía tiene un efecto significativo y positivo sobre las emisiones de carbono a largo plazo en Somalia, lo que indica que el aumento de la energía utilizada actualmente en el país no es ambientalmente sostenible” [10]

Una conclusión similar se ha evidenciado en Malasia, donde se confirma que el uso prolongado de energía no renovable

mantiene una relación significativa con el aumento de emisiones de CO₂, reforzando la necesidad de migrar hacia fuentes más limpias y tecnologías más eficientes [11]

La presente investigación tiene por objetivo el analizar la viabilidad técnica, económica y ambiental del reemplazo de motores de combustión interna por motores eléctricos en los sistemas de riego de la Asociación de Producción Nuevo Mundo (ASOMUNUE), ubicada en la parroquia Mariscal Sucre del cantón Milagro, con el fin de promover prácticas agrícolas sostenibles y ecoeficientes.

Contextualización local en agricultura pequeña escala: la mayoría de los estudios se centran en vehículos o maquinaria industrial, pero pocos analizan sistemas de riego en asociaciones rurales como ASOMUNUE. Este trabajo aporta un enfoque territorial y comunitario específico, subsanando la falta de evidencia para zonas similares en Ecuador.

- **Contribuciones:**

Contribución técnica aplicada: El estudio presenta el diseño e implementación de un sistema eléctrico de bombeo adaptado a una finca de 7 hectáreas, utilizando motores eléctricos en reemplazo de motores a diésel. Esto incluye cálculos detallados de demanda energética, selección de transformadores, cableado, acometidas y sistemas de puesta a tierra, lo cual constituye un aporte práctico aplicable en contextos agrícolas similares en Ecuador y América Latina.

Contribución económica: Se realiza una comparativa exhaustiva entre los costos operativos de motores de combustión interna y eléctricos. El estudio muestra una reducción significativa de los costos mensuales (de más de \$1.000 a cerca de \$320), aportando evidencia clara del ahorro económico sostenible para pequeños y medianos productores agrícolas.

Contribución ambiental: Se demuestra una reducción del 90% en las emisiones de CO₂ al sustituir los motores tradicionales por eléctricos, lo cual representa una mitigación de aproximadamente 6,6 toneladas de CO₂ equivalente al año. Este dato es clave para las políticas de sostenibilidad y transición energética en el sector agrícola.

Contribución estratégica y social: El estudio promueve el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente los ODS 7 (energía asequible y no contaminante) y 13 (acción por el clima), posicionando a asociaciones agrícolas como ASOMUNUE como actores activos en la lucha contra el cambio climático.

Innovación contextualizada: A diferencia de estudios internacionales más generalistas, este trabajo integra datos técnicos reales, normativa ecuatoriana y necesidades locales, convirtiéndose en una guía de referencia para la implementación de soluciones energéticas limpias en zonas rurales del país.

1.3.- Problemática de la energía en agricultura y pobreza energética.

El desarrollo de una agricultura sostenible exige una transformación radical en las fuentes de energía utilizadas en las zonas rurales, especialmente aquellas que dependen de motores de combustión interna. Estos sistemas no solo generan altos niveles de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), sino que también implican altos costos operativos y dependencia de combustibles fósiles. Esta problemática afecta particularmente a comunidades campesinas que enfrentan pobreza energética, exclusión tecnológica y limitaciones económicas para migrar hacia soluciones energéticas limpias [12].

La agricultura, especialmente en zonas rurales, depende históricamente de motores de combustión interna para tareas críticas como el riego. Estos sistemas, aunque funcionales, presentan una doble problemática: por un lado, generan emisiones significativas de gases de efecto invernadero (GEI), contribuyendo al cambio climático; por otro, implican altos costos operativos debido a la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles. Esta dependencia tecnológica limita la competitividad de los pequeños productores y aumenta su vulnerabilidad frente a crisis energéticas y ambientales.

La pobreza energética en entornos rurales agrava esta situación. Según estudios recientes, más del 30% de las comunidades agrícolas en países en desarrollo carecen de acceso confiable a energía limpia, lo que restringe la adopción de tecnologías modernas y perpetúa la exclusión económica. Esta carencia no solo afecta la productividad agrícola, sino también la calidad de vida, al incrementar riesgos de salud por exposición a contaminantes y reducir oportunidades de desarrollo. En este contexto, la electrificación agrícola emerge como una estrategia clave para romper el ciclo de dependencia fósil y pobreza energética, ofreciendo soluciones sostenibles que integran eficiencia, resiliencia y equidad [13].

1.4.- Transición energética y beneficios ambientales.

Las transiciones energéticas sostenibles basadas en fuentes renovables han demostrado reducir significativamente la huella de carbono per cápita en regiones con altos niveles de pobreza energética. Diversas investigaciones han evidenciado que las microrredes rurales alimentadas por fuentes renovables locales (como solar o eólica) no solo mejoran el acceso energético, sino que también disminuyen el impacto ambiental asociado a las tecnologías convencionales [14].

Además, las tecnologías descentralizadas permiten soluciones adaptadas al contexto, con menores costos de implementación que las extensiones de red eléctrica tradicional. Este enfoque ha sido respaldado por estrategias nacionales e internacionales que promueven el uso de energías limpias para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en especial el ODS 7 (energía

asequible y no contaminante) y el ODS 13 (acción por el clima) [15].

La transición hacia sistemas eléctricos en la agricultura representa un cambio estructural con impactos ambientales positivos. Sustituir motores diésel por motores eléctricos reduce drásticamente las emisiones de CO₂, especialmente en países cuya matriz energética se basa en fuentes renovables, como Ecuador. Además, esta transición disminuye la contaminación sonora y el riesgo de derrames de combustibles, contribuyendo a la protección de ecosistemas locales. Desde una perspectiva global, la electrificación agrícola se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 7 (energía asequible y no contaminante) y el ODS 13 (acción por el clima), consolidando la agricultura como un actor relevante en la mitigación del cambio climático [16].

1.5.- Herramientas de evaluación ambiental: Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

Un elemento clave en la evaluación ambiental de estas soluciones energéticas es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que permite cuantificar los impactos desde la producción hasta la disposición final de los sistemas tecnológicos utilizados. Mediante el ACV se identifican los principales puntos críticos de impacto ambiental, incluyendo emisiones, consumo de recursos, generación de residuos y uso de agua. La huella hídrica, por ejemplo, adquiere relevancia en zonas áridas donde ciertas soluciones solares térmicas pueden generar presión sobre los recursos hídricos [17].

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta metodológica esencial para evaluar el impacto ambiental de tecnologías energéticas. Permite cuantificar emisiones, consumo de recursos y generación de residuos desde la fabricación hasta la disposición final, ofreciendo una visión integral del desempeño ambiental. En el contexto agrícola, el ACV resulta crítico para comparar tecnologías fósiles y eléctricas, identificando puntos críticos como la huella de carbono y la huella hídrica, que son determinantes en zonas con estrés hídrico [18].

Aplicar ACV en proyectos de electrificación agrícola no solo valida la reducción de emisiones, sino que también anticipa impactos indirectos, como el consumo de agua en soluciones solares térmicas o la generación de residuos electrónicos. Esta perspectiva holística permite diseñar estrategias de mitigación complementarias, garantizando que la transición energética sea verdaderamente sostenible. Además, el ACV facilita la toma de decisiones basada en evidencia, apoyando políticas públicas y modelos de negocio orientados a la economía circular y la resiliencia ambiental.

1.6.- Impactos en salud pública y tecnologías limpias.

Desde una perspectiva de salud pública, la falta de acceso a energía limpia también incrementa la exposición a contaminantes intradomiciliarios por el uso de biomasa no

sostenible, afectando especialmente a mujeres y niños. Tecnologías como las estufas mejoradas permiten reducir hasta en un 70 % la huella de carbono generada por métodos tradicionales de cocción [19].

La falta de acceso a energía limpia en comunidades rurales no solo limita la productividad agrícola, sino que también genera riesgos significativos para la salud pública. El uso prolongado de combustibles fósiles y biomasa en procesos agrícolas y domésticos incrementa la exposición a contaminantes intradomiciliarios, como material particulado y compuestos tóxicos, que afectan el sistema respiratorio y cardiovascular. Estos impactos son más severos en mujeres y niños, quienes suelen estar más expuestos a ambientes contaminados durante las labores cotidianas.

La adopción de tecnologías limpias, como motores eléctricos y sistemas de riego eficientes, contribuye a reducir estas externalidades negativas. Al eliminar la combustión directa de diésel, se disminuye la emisión de partículas y gases nocivos, mejorando la calidad del aire en entornos agrícolas. Además, la electrificación permite integrar soluciones complementarias, como sistemas automatizados de riego, que reducen el contacto humano con combustibles y disminuyen riesgos ocupacionales. Este cambio tecnológico, por tanto, no solo tiene beneficios ambientales, sino también repercusiones positivas en la salud y bienestar de las comunidades rurales.

1.7.- Justificación para el caso ASOMUNUE.

En contextos como el de ASOMUNUE, donde la producción agrícola depende fuertemente de motobombas con motores de combustión interna, se evidencia una urgente necesidad de migrar hacia tecnologías eléctricas eficientes. Esta transición no solo responde a una lógica de sostenibilidad ambiental, sino también a la reducción de costos operativos, disminución del riesgo de incendios, mejoras en salud ocupacional y alineación con políticas de electrificación rural promovidas por el Estado [20].

En países en vías de desarrollo, como Somalia y Malasia, estudios han confirmado que el consumo de energía no renovable mantiene una correlación significativa con el aumento de emisiones de CO₂, evidenciando que los modelos energéticos actuales no son sostenibles a largo plazo [21].

La asociación ASOMUNUE representa un caso emblemático para la implementación de tecnologías limpias en la agricultura ecuatoriana. Su ubicación en una zona rural con acceso limitado a infraestructura energética convencional y su dependencia histórica de motores diésel para riego la convierten en un escenario ideal para evaluar la viabilidad técnica y económica de la electrificación. Además, el contexto local refleja desafíos comunes en otras comunidades agrícolas del país, como altos costos operativos, vulnerabilidad frente a fluctuaciones del precio del combustible y necesidad de cumplir con normativas

ambientales. Por ello, este estudio no solo aporta soluciones específicas para ASOMUNUE, sino que también genera evidencia replicable para políticas públicas y proyectos de desarrollo rural sostenible [22].

1.8.- Perspectiva estratégica integral.

La incorporación de soluciones energéticas limpias en zonas rurales es una necesidad estratégica para garantizar una producción agrícola resiliente, inclusiva y baja en emisiones, basada en evidencia técnica y científica. Esta transición energética, evaluada mediante herramientas como el ACV, debe ser impulsada desde una visión integral que articule economía, ambiente y justicia social para lograr un equilibrio entre desarrollo, salud y sostenibilidad en los territorios rurales [23].

La transición hacia sistemas eléctricos en la agricultura debe ser concebida como parte de una estrategia integral que articule dimensiones técnicas, económicas, sociales y ambientales. No basta con sustituir motores; es necesario garantizar la disponibilidad de infraestructura eléctrica, diseñar esquemas de financiamiento accesibles y promover la capacitación de los agricultores para el uso y mantenimiento de nuevas tecnologías. Esta visión holística asegura que la electrificación no se limite a un cambio tecnológico, sino que se convierta en un catalizador de desarrollo rural inclusivo y resiliente.

Desde la perspectiva de políticas públicas, la electrificación agrícola puede integrarse en programas nacionales de transición energética y mitigación del cambio climático. Su implementación contribuye al cumplimiento de compromisos internacionales, como el Acuerdo de París, y fortalece la competitividad del sector agroproductivo. Además, al reducir la dependencia de combustibles fósiles, se disminuye la vulnerabilidad frente a crisis energéticas globales, consolidando la seguridad alimentaria y energética del país. En este sentido, la electrificación agrícola no es solo una solución técnica, sino una herramienta estratégica para alcanzar objetivos de sostenibilidad y equidad social.

2. Materiales y métodos.

Para la implementación del sistema de riego eléctrico en la finca “Hacienda Emanuel (Los Palmares)”, se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

2.1.- Descripción de materiales y equipos:

Bomba sumergible eléctrica de 7 a 10 HP, modelo Franklin Electric, eficiencia aproximada del 80%.

Transformador trifásico de 30 kVA (marca ABB®), con tensión primaria de 7.2 kV y secundaria de 220 V.

Conductor eléctrico aéreo tipo CONC.AL.XLPE de 2×6+6MM² (6 AWG XLPE), de aluminio.

Tubería de polietileno de alta densidad (PEAD) de 8 a 10 pulgadas de diámetro para el sistema de riego.

Aspersores emergentes modelo 8005 – 8000 Series, con caudales de 0,86 a 8,24 m³/h y radios de 11,9 a 24,7 m.

Sistema de puesta a tierra, compuesto por varilla Copperweld de 5/8” x 1.8 m y conductor #10 AWG.

Medidor de energía tipo 2F-3H, KWH, clase 100, bornera. Software utilizado: **Microsoft Excel** para análisis comparativo de costos y emisiones, y **AutoCAD** para diseño eléctrico.

2.2.- Diseño experimental:

Se diseñó un estudio aplicado de tipo descriptivo-comparativo, centrado en la sustitución de un sistema de riego agrícola basado en motores de combustión interna (diésel) por un sistema alimentado con motores eléctricos conectados a la red trifásica.

Variables medidas:

- Costo energético mensual y anual.
- Consumo de combustible (diésel) y electricidad (kWh).
- Mantenimiento programado de equipos.
- Emisiones de CO₂ (kg/mes y kg/año).

Variable controlada:

Caudal de agua necesario para riego uniforme en 7 hectáreas.

2.3.- Procedimientos:

- **Diagnóstico inicial:** Se identificó la situación energética y operativa actual de la finca, incluyendo ubicación del pozo, tipo de bomba diésel y sistema de distribución de agua.
- **Diseño del sistema eléctrico:** Se calculó la demanda eléctrica con base en la potencia de la bomba y se seleccionó el transformador trifásico adecuado. Se diseñó la red de distribución desde el poste más cercano (60 m de distancia) hasta el punto de consumo. Se definieron los elementos de protección, medición y puesta a tierra.
- **Comparativa técnico-económica y ambiental:** Se estimó el consumo mensual de energía de ambos sistemas (eléctrico vs combustión). Se aplicó el factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador (0.09 kg CO₂/kWh). Se calcularon los costos mensuales de energía, mantenimiento y operación.
- **Validación del sistema propuesto:** Se analizaron normativas del IEEE, NEC, NEMA, MEER y CNEL. Se revisó el cumplimiento de estándares técnicos mediante simulación de cargas y verificación de diagramas eléctricos.

2.4.- Análisis de datos:

El análisis comparativo entre los dos sistemas de bombeo se realizó utilizando:

- **Microsoft Excel** para cálculos de consumo energético, costos y estimación de emisiones.
- **Tablas de factores de emisión** publicadas por el Ministerio de Energía y Minas de Ecuador.

- El análisis se presentó en tablas comparativas que incluyen valores mensuales, anuales y porcentajes de ahorro económico y ambiental.

3. Análisis e Interpretación de Resultados.

1. Presentación de resultados:

Las tecnologías renovables descentralizadas pueden proporcionar acceso básico a la electricidad a una fracción del costo de las extensiones de red [24]

Los resultados obtenidos se centraron en tres dimensiones principales: el análisis técnico del sistema eléctrico de riego, la comparación de costos operativos entre el motor a combustión interna y el motor eléctrico, y la evaluación ambiental basada en las emisiones de CO₂.

Tabla 1. Comparación de costos entre bomba a combustión interna y motor eléctrico (80 h/mes)

| Aspecto | Bomba a combustión interna | Bomba eléctrica 10 hp |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Costo inicial de la bomba | \$3.500 | \$2.800 |
| Costo mensual de energía | \$153,44 | \$33,42 |
| Mantenimiento mensual | \$120 – \$150 | \$40 – \$60 |
| Costo mensual total estimado | \$1.020 – \$1.050 | \$302,50 – \$322,50 |
| Costo anual estimado | \$12.240 – \$12.600 | \$3.630 – \$3.870 |

Fuente: Elaboración propia

Reducción de huella del carbono.

Motor a combustión interna

Calcular la huella de carbono al reemplazar motores de combustión interna por motores eléctricos implica analizar las emisiones de CO₂ que están al uso de combustibles fósiles y compararlas con las emisiones derivadas de la generación de electricidad consumida por los motores eléctricos. [25]

Factores de emisión del combustible (kg de CO₂ por litro):

- Diésel: 2.68 kg de CO₂ por litro.
- Gasolina: 2.31 kg de CO₂ por litro.
- Diésel: 10.14 kg de CO₂ por galón.
- Gasolina: 8.75 kg de CO₂ por galón.

Cálculo: Consumo mensual en litros = $59.89 \text{ galones} \times \frac{3.785 \text{ litros}}{\text{galón}}$

Consumo mensual en litros = 226.68 litros/mes

Emisiones Mensuales de CO₂

Consumo de combustible (litros /mes) x Factor de emisión (kg de CO₂ /litro)

Emisiones mensuales (kg CO₂)
= 226.63 litros x 2.68 kg CO₂/litro

Emisiones mensuales (kg CO₂) = **607.51 kg CO₂/mes**

Emisiones Anuales de CO₂

Emisiones anuales (kg CO₂) = 607.51 kg CO₂/mes x 12

Emisiones anuales (kg CO₂) = **7,290.14 kg CO₂/año**

En Ecuador, el factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado (SNI) se ha determinado en 0.09 toneladas de CO₂ por megavatio – hora (tCO₂/MWh), equivalente a 0.09 kg de CO₂ por kilovatio – hora (kgCO₂/kWh)¹

Motor eléctrico

Emisiones mensuales (kg CO₂) =

Consumo eléctrico (kWh) x Factor de emisión (kg CO₂ /kWh)

Emisiones mensuales = 569.8 kWh x $\frac{0.09 \text{ kg CO}_2}{\text{kWh}}$

Emisiones mensuales = **51.282 kg CO₂/mes**

Emisiones anuales = 51.282 kg CO₂/mes x 12 =

615.38 kg CO₂/año

Tabla 2. Comparaciones de emisión de CO₂

| Motor | Emisiones mensuales (kgCO ₂) | Emisiones anuales (kgCO ₂) |
|-------------------------|--|--|
| Motor a Diesel | 607,51 | 7290,14 |
| Motor eléctrico | 51,282 | 615,38 |
| Porcentaje de reducción | | 90% |

Fuente: Elaboración propia

Los sistemas de energía renovable fuera de red generan entre un 60 y 90% menos de emisiones en comparación con generadores diésel tradicionales en zonas rurales [26].

Con un factor de emisión de 0.09 kg CO₂/kWh, el motor eléctrico genera 615.38 kg de CO₂ al año, mientras que el motor de combustión genera 7,290.44 kg de CO₂ al año. Esto representa una reducción de aproximadamente el 90% de las emisiones de CO₂, equivalente a evitar 6.6 toneladas de CO₂ equivalente al año.

Análisis de resultados:

Los datos revelan una clara ventaja económica y ambiental del uso de motores eléctricos:

- Reducción de costos:** el cambio de tecnología representa un ahorro de aproximadamente el 70% en costos operativos mensuales. Este ahorro se atribuye al menor precio del kWh (\$0.056) frente al galón de diésel (\$1.50), y a menores costos de mantenimiento y eliminación del cambio de aceite.
- Mayor vida útil:** los motores eléctricos presentan una vida útil promedio de 10 a 15 años frente a los 5 a 8 años de los motores a combustión.
- Reducción de emisiones:** se obtuvo una disminución del 90% en emisiones de CO₂, lo que representa una reducción de 6.675 kg CO₂/año (6,6 toneladas).

Interpretación de resultados:

- Los resultados están alineados con los objetivos del estudio: demostrar la viabilidad técnica, económica y ambiental del reemplazo de motores de combustión interna en zonas rurales agrícolas de Ecuador. La magnitud del ahorro energético y la reducción de

emisiones confirman la pertinencia del cambio propuesto, especialmente en un contexto donde la matriz energética del país tiene baja emisión gracias a su alto componente hidroeléctrico.

- Desde el marco teórico, el estudio confirma que la electrificación de procesos agrícolas contribuye significativamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 7 y 13), así como a mejorar las condiciones de trabajo, reducir la dependencia de combustibles fósiles, y promover tecnologías limpias en sectores tradicionalmente intensivos en carbono.

Limitaciones y sesgos:

- **Alcance geográfico limitado:** el estudio se realizó en una sola finca, lo que limita la generalización inmediata de los resultados a otras regiones o condiciones agrícolas.
- **Datos de consumo estimados:** aunque se usaron parámetros técnicos reales, los datos energéticos y de emisiones se basan en estimaciones promediadas de funcionamiento (80 horas/mes), lo cual podría variar dependiendo del régimen de uso del riego.
- **Costos dinámicos:** tanto la tarifa eléctrica como el precio del diésel están sujetos a variaciones del mercado, lo que puede alterar la relación de costos en el futuro.
- **Falta de evaluación social directa:** no se midieron impactos sociales como percepción del cambio tecnológico por parte de los agricultores o barreras culturales a la implementación.

4. Discusión.

4.1.- Interpretación de los resultados:

Los resultados del estudio evidencian que el reemplazo de motores de combustión interna por motores eléctricos en sistemas de riego agrícola representa una alternativa viable, económica y ambientalmente responsable. Este hallazgo se alinea directamente con los objetivos planteados, que buscaban analizar la factibilidad técnica, económica y ambiental de esta transición en la Asociación ASOMUNUE. La reducción del 90% en las emisiones de CO₂, junto con un ahorro de más del 70% en costos operativos, demuestra que la adopción de tecnologías eléctricas puede tener un impacto significativo tanto en la sostenibilidad ambiental como en la rentabilidad de los productores agrícolas.

“Los sistemas híbridos fuera de red mostraron una reducción del 70–90% en impactos ambientales globales, incluyendo huella de carbono, huella hídrica y toxicidad humana” [27].

Desde el marco teórico, estos resultados respaldan los postulados sobre ecoeficiencia en agricultura y refuerzan la importancia de la transición energética para mitigar el cambio climático, especialmente en países con una matriz energética limpia como Ecuador.

4.2.- Comparación con estudios previos:

Los hallazgos obtenidos coinciden con investigaciones de organismos como la [28], que destacan la necesidad de reducir las emisiones en la agricultura mediante tecnologías limpias. Además, estudios como el de [29] resaltan el papel de la electrificación en la disminución de la huella de carbono en el sector productivo. A diferencia de estos estudios, que suelen centrarse en modelos teóricos o en regiones distintas, el presente trabajo aplica los conceptos a un caso práctico, contextualizado en una zona rural ecuatoriana, con mediciones reales de consumo y costos, lo que fortalece su relevancia local y su aplicabilidad inmediata.

Asimismo, este estudio responde a una brecha identificada en la literatura: la escasa disponibilidad de análisis técnico-económicos específicos para asociaciones de producción agrícola en países en desarrollo. Al integrar diseño eléctrico, evaluación de costos y análisis de emisiones, el trabajo contribuye de manera significativa a esta área poco explorada. [30]

4.3.- Implicaciones teóricas y prácticas:

Desde el punto de vista teórico, los resultados validan marcos conceptuales relacionados con eficiencia energética, transición tecnológica y sostenibilidad rural. Se demuestra que es posible adoptar tecnologías limpias en contextos agrícolas sin comprometer la productividad, e incluso mejorando la eficiencia operativa.

El consumo de energía contribuye positivamente al crecimiento económico, pero también intensifica la contaminación ambiental, lo cual exige estrategias energéticas sostenibles [31].

A nivel práctico, el estudio ofrece un modelo replicable de electrificación de sistemas de riego que puede ser adoptado por otras asociaciones o pequeñas fincas agrícolas. Las implicaciones para la industria incluyen:

- Reducción de costos de operación en la agroindustria.
- Incremento en la vida útil de los equipos.
- Mejora en el cumplimiento de normativas ambientales y energéticas.
- Posibilidad de integración con fuentes de energía renovable (solar, hidráulica).
- Además, los resultados pueden ser utilizados como base para políticas públicas orientadas al fomento de la electrificación agrícola y al desarrollo rural sostenible.

4.4.- Limitaciones y recomendaciones:

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentran:

- **Alcance limitado del caso de estudio:** se centra en una sola finca, lo cual restringe la generalización de los resultados a otras regiones o escalas de producción.
- **Estimaciones energéticas y de costos:** aunque basadas en parámetros reales, los datos de consumo y mantenimiento pueden variar dependiendo del uso

específico, condiciones del terreno o fluctuaciones de mercado.

- **Falta de análisis social y cultural:** no se incluyó una evaluación cualitativa sobre la aceptación del cambio tecnológico por parte de los agricultores, ni las barreras sociales o de conocimiento que podrían dificultar su implementación.

4.5.- Recomendaciones para futuras investigaciones:

- Ampliar el estudio a más fincas y regiones del país para validar los resultados en distintos contextos agro-productivos.
- Incluir análisis multicriterio que integren factores técnicos, económicos, sociales y ambientales.
- Incorporar fuentes de energía renovable (como solar fotovoltaica) para fortalecer la autonomía energética rural.
- Desarrollar estudios longitudinales que midan el impacto del cambio tecnológico a mediano y largo plazo.

5.- Conclusiones.

Resumen de los hallazgos

Este estudio demostró que el reemplazo de motores de combustión interna por motores eléctricos en sistemas de riego agrícola en la finca "Hacienda Emanuel (ASOMUNUE)" permite reducir significativamente los costos operativos y las emisiones contaminantes. Los principales resultados incluyen una reducción del 70% en costos mensuales de operación y una disminución del 90% en las emisiones de CO₂, equivalente a evitar aproximadamente 6,6 toneladas anuales de dióxido de carbono. Estos hallazgos están plenamente alineados con los objetivos del estudio, que buscaban evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de este cambio tecnológico en contextos rurales.

“Reemplazar motores de combustión interna en sistemas agrícolas no solo reduce emisiones, sino que mejora la eficiencia operativa del riego y reduce el consumo energético global” [32]

Contribuciones principales

El estudio aporta al campo de la ingeniería tres contribuciones clave:

- Una propuesta integral de electrificación agrícola, que incluye diseño técnico, evaluación económica y análisis de impacto ambiental.
- Una validación práctica del reemplazo de tecnologías contaminantes por soluciones más sostenibles en un entorno rural de Ecuador, lo que contribuye a cerrar brechas existentes en la literatura sobre casos reales en países en desarrollo.
- La demostración de que esta transición contribuye directamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente los ODS 7 (energía limpia) y 13 (acción por el clima).

Implicaciones prácticas y teóricas

Desde un punto de vista práctico, los resultados pueden ser replicados por otras asociaciones agrícolas del país, aportando soluciones eficientes y sostenibles para el riego. También pueden servir de insumo para programas de electrificación rural, subsidios o incentivos estatales.

El análisis de ciclo de vida reveló que los sistemas solares domésticos generan hasta un 85% menos emisiones de gases de efecto invernadero que generadores diésel [33].

En el plano teórico, el estudio fortalece el marco conceptual sobre ecoeficiencia y transición energética en la agricultura, aportando evidencia empírica que puede servir de base para futuras investigaciones en diseño de sistemas agrícolas sostenibles, análisis de ciclo de vida o integración de energías renovables.

Recomendaciones para futuros estudios

Para enriquecer y ampliar este campo de investigación, se sugiere:

- Replicar el estudio en otras regiones del país, con diferentes tipos de cultivos y condiciones geográficas, para validar su aplicabilidad general.
- Incorporar un análisis social y cultural, evaluando la percepción de los productores frente a nuevas tecnologías.
- Analizar la viabilidad de integrar energía solar fotovoltaica como fuente alternativa para el sistema de riego.
- Realizar estudios longitudinales que midan el desempeño económico y ambiental de estos sistemas en el mediano y largo plazo.

6.- Author Contributions (Contributor Roles Taxonomy (CRediT))

1. Conceptualización: Luis Angel Bucheli Carpio.
2. Curación de datos: Luis Angel Bucheli Carpio.
3. Análisis formal: Luis Angel Bucheli Carpio.
4. Investigación: Luis Angel Bucheli Carpio.
5. Metodología: Jesus Armando Verdugo Arcos.
6. Administración del proyecto: Jesus Armando Verdugo Arcos.
7. Software: Carlos Daniel Campoverde Pillajo.
8. Supervisión: Jesus Armando Verdugo Arcos.
9. Validación: Carlos Daniel Campoverde Pillajo.
10. Visualización: Carlos Daniel Campoverde Pillajo.
11. Redacción - borrador original: Carlos Daniel Campoverde Pillajo.
12. Redacción - revisión y edición: Carlos Daniel Campoverde Pillajo.

7.- Referencias.

- [1] A. Ahmed, L. Khadim, N. Badran, C. Sarpong y G. Otieno, «Sustainable energy transitions and carbon footprint reduction in developing economies: A multi-regional analysis,» Scientific Reports, vol. 14, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-91540-9>
- [2] U. Deichmann, C. Meisner, S. Murray y D. Wheeler, «The economics of renewable energy expansion in rural Sub-Saharan Africa,»

- Energy, Sustainability and Society, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.034>
- [3] X. Zhao, R. Huang, D. Li, W. Zhang y J. Liu, «Carbon footprint and environmental co-benefits of energy-efficient cooking technologies in rural households,» *Scientific Reports*, vol. 14, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-85985-1>
 - [4] S. Dlamini, T. Mthembu, Z. Khumalo y M. A. Adeyemi, «Environmental health implications of energy access inequities in remote communities,» *Parasites & Vectors*, vol. 18, 2025. <https://doi.org/10.1186/s13071-025-06662-w>
 - [5] J. Liu, C. Fang, L. Zhang, M. Yuan, W. Zhou y Q. Chen, «Uncovering the water-carbon trade-offs of solar power expansion in arid regions,» *Nature Communications*, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-61051-7>
 - [6] G. E. Castro Rosales, A. D. Torres Alvarado, L. S. Zalamea Cedeño, F. J. Duque-Aldaz y F. R. Rodríguez-Flores, «Comprehensive Ergonomic Proposal for the Reduction of Musculoskeletal Risks in Soap Production: An Approach Based on Statistical Analysis and Postural Evaluation,» *INQUIDE - Ingeniería Química y Desarrollo*, vol. 7, n° 2, 2025. <https://doi.org/10.53591/iqd.v7i02.2416>
 - [7] A. Ahmed, L. Khadim, N. Badran, C. Sarpong y G. Otieno, «Sustainable energy transitions and carbon footprint reduction in developing economies: A multi-regional analysis,» *Scientific Reports*, vol. 14, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-91540-9>
 - [8] N. J. Williams, S. P. Jafry, K. M. Mutua y L. T. Ogallo, «The impact of climate-smart agriculture on food-energy-water systems in Sub-Saharan Africa,» *Nature Communications*, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-61011-w>
 - [9] P. Bipasha, D. Dipankar, D. Saikat y D. Swagatam, «Sustainable rural electrification through micro-grids in developing nations: A review of recent development,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113266>
 - [10] I. Mohamed Adan, B. Mohamed Ismail y M. O. Shurie, «Towards Environmental Sustainability: Evaluating the Role of Energy Consumption, FDI, and Urbanization on Carbon Emission in Somalia: An Empirical Analysis using ARDL Bound Test,» *Journal of Environmental Management and Tourism*, vol. 14, n° 7, pp. 2241-2251, 2023. DOI: <https://doi.org/10.32479/ijeep.17379>. URL: <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/17379>
 - [11] A. Noor Azlinna, M. Nor Asilah, S. A. Hazman y N. J. Nik Rosila, «The Impact of Energy Consumption, Economic Growth, and Non-Renewable Energy on Carbon Dioxide Emission in Malaysia,» *Journal of Environmental Management and Tourism*, vol. 14, n° 7, pp. 2167-2175, 2023. DOI: <https://doi.org/10.32479/ijeep.17350>. URL: <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/17350>
 - [12] F. J. Duque-Aldaz, F. R. Rodríguez-Flores y J. Carmona Tapia, «Identification of parameters in ordinary differential equation systems using artificial neural networks,» *San Gregorio*, vol. 1, n° 2, 2025. <https://revista.sangregorio.edu.ec/index.php/REVISTASANGREGORIO/article/view/2826>
 - [13] D. M. Kammen y D. A. Sunter, «Rural energy and sustainability: Implications for developing nations,» *Nature Energy*, vol. 1, 2016. <https://doi.org/10.1038/nenergy.2016.75>
 - [14] G. Ramakrishnan, «Sustainable rural electrification through micro-grids,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, pp. 726-745, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.11.040>
 - [15] N. Jollands, «Energy for development: The potential role of renewable energy in meeting the Millennium Development Goals,» *Energy Policy*, vol. 32, pp. 1271-1281, 2024. <https://search.issuelab.org/resource/energy-for-development-the-potential-role-of-renewable-energy-in-meeting-the-millennium-development-goals.html>
 - [16] J. E. Pincay Moran, A. F. López Vargas, F. J. Duque-Aldaz, W. Villamagua Castillo y R. Sánchez Casanova, «Evaluation and Proposal for an Environmental Management System in a Mango Plantation,» *INQUIDE*, vol. 7, n° 1, 2025. <https://doi.org/10.53591/iqd.v7i01.1991>
 - [17] S. Ulgiati, «Life Cycle Assessment and Sustainability,» *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 26, pp. 1400-1412, 2021. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/life-cycle-sustainability-assessment>
 - [18] F. Veronesi, «Effects of solar power on water scarcity footprint,» *Environmental Science & Technology*, vol. 51, n° 21, pp. 2476-2484, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jesal.2025.118575>
 - [19] K. R. Smith, «Household air pollution from solid cookfuels and its effects on health,» *The Lancet*, vol. 38, pp. 1937-1948, 2017. DOI: https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0527-1_ch18 URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/21541>
 - [20] G. J. Morcho Choca, L. A. Bucheli Carpio y F. J. Duque-Aldaz, «Fuel oil fuel dispatch optimization through multivariate regression using local storage indicators,» *INQUIDE*, vol. 6, n° 2, 2024. <https://doi.org/10.53591/iqd.v6i02.477>
 - [21] M. Abdurahman, «Unveiling the Drivers of Economic Growth in Somalia,» *Journal of Environmental Management and Sustainability*, vol. 3, n° 2, 2024. DOI: <https://doi.org/10.32479/ijeep.16040>. URL: <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/16040>
 - [22] N. Mohd Suki, «The Impact of Energy Consumption, Economic Growth and Non-Renewable Energy on Carbon Dioxide Emission in Malaysia,» *Sustainability*, vol. 15, 2024. <https://doi.org/10.32479/ijeep.17350>; <https://econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/17350>
 - [23] J. S. Fu-López, J. P. Fierro Aguilar, F. R. Rodríguez-Flores y F. J. Duque-Aldaz, «Application of non-automated Lean strategies for quality improvement in manual assembly processes: a case study in the white goods industry,» *INQUIDE - Ingeniería Química y Desarrollo*, vol. 7, n° 1, 2025. <https://doi.org/10.53591/iqd.v7i02.2417>
 - [24] U. Deichmann, C. Mesiner, S. Murray y D. Wheeler, «The economics of renewable energy expansion in rural Sub-Saharan Africa,» *Energy, Sustainability and Society*, 2025. <https://doi.org/10.1186/s13705-025-00225-7>
 - [25] F. Santos Alvite, M. Jaramillo y L. Haro Estrella, «Factor de emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador,» *Ministerio de Energía y Minas*, Quito, 2022. URL (PDF): <https://www.ambienteenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2023/08/wp-1692720103183.pdf>
 - [26] L. A. Mofor, J. O. Owusu, T. Muzangaza y M. Tchoukan, «Greenhouse gas emission assessment of off-grid renewable energy projects in rural areas: A life cycle perspective,» *Environmental Science and Pollution Research*, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10151-025-03123-5>
 - [27] T. Rahman, N. Huda, P. Chandrasekaran, F. Ahmed y J. T. Endara, «Environmental performance of hybrid off-grid energy systems in tropical regions: A multi-criteria life cycle assessment,» *Scientific Reports*, vol. 14, 7 Abril 2024. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2025.114633>
 - [28] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, «FAO STRATEGY ON CLIMATE CHANGE,» FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Roma, 2022. URL: <https://openknowledge.fao.org/items/7b9bf435-b12b-4abf-94c0-4806d3b97109>. URL (PDF directo): <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f6270800-ee7-498f-9887-6d937c4f575a/content>
 - [29] C. Espíndola y J. Valderrama, «Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas,» *Información tecnológica*, vol. 23, n° 1, pp. 163-176, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>. URL: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642012000100017&script=sci_arttext
 - [30] A. Goncalves Savinovich, S. R. Fritschi Naranjo y R. E. Quintero Veliz, «Factor de emisión de CO2: Sistema Nacional Interconectado del Ecuador,» *Ministerio de Energía y Minas*, Quito, 2023. URL (PDF): <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/09/Factor-de-emision-de-CO2-del-Sistema-Nacional-Interconectado-de-Ecuador-Informe-2023.pdf>
 - [31] M. Hassan Abukar, M. Abdiwahid Hassan y I. Yusuf Hassan, «Unveiling the Drivers of Economic Growth in Somalia: The Role of Energy Consumption, Environmental Pollution, and Globalization,» *Journal of Environmental Management and Tourism*, vol. 14, n° 8, pp. 2307-2319, 2023. <https://doi.org/10.32479/ijeep.16040>; <https://econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/16040>
 - [32] P. Bipasha, D. Dipankar, D. Saikat y S. Das, «Sustainable rural electrification through micro-grids in developing nations: A review

of recent development,» Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 180, 2023. . <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113266>

- [33] J. Hyun Kim, S. Aminah, T. Petchsri y M. N. Ortega, «Life cycle environmental impacts of solar home systems in remote rural areas: A case study from Southeast Asia,» Energy, Sustainability and Society, 2025. <https://doi.org/10.1186/s13613-025-01445-z> .