

Sistemas de riego solares para la agricultura familiar en el municipio de Boane, provincia de Maputo, Mozambique

Solar Irrigation Systems for Family Farming in the Municipality of Boane, Maputo Province, Mozambique

Erika Machirica erikamachirica@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-0196-3274>

Universidad Eduardo Mondlane, Maputo, Mozambique

Resumen: Mozambique presenta una alta radiación horizontal global en comparación con buenas ubicaciones en Europa y Asia, y está bastante cerca de algunas de las mejores ubicaciones del mundo, como Sudáfrica y California. En el país, la radiación global en un plano horizontal varía entre 1.785 y 2.206 kWh/m²/año. Con base en la radiación global en un plano inclinado, el análisis de la pendiente del terreno, la densidad forestal y las áreas inundadas, el potencial solar de Mozambique es de 23 TWp. Esta investigación evalúa la viabilidad técnica y económica de la implementación de sistemas de riego solar en la agricultura familiar en el municipio de Boane, provincia de Maputo. Considerando que los agricultores actualmente utilizan motobombas o bombas eléctricas alimentadas por combustible (gasolina/diésel), esta investigación compara estos sistemas con alternativas solares fotovoltaicas. Se analizaron datos sobre la radiación solar local, las características de la cuenca del río Umbeluze, los tipos de tecnologías de riego solar, los costos de instalación y operación, y los indicadores de rentabilidad. Los resultados muestran que, a pesar de la elevada inversión inicial, los sistemas solares son económicamente viables a mediano plazo y tienen un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental y en los ingresos de los pequeños productores.

Palabras clave: sistemas de riego, sistemas solares fotovoltaicos, cuenca hidrográfica, indicadores de rentabilidad

Abstract: Mozambique has high global horizontal radiation compared to good locations in Europe and Asia, and is quite close to some of the best locations in the world, such as South Africa and California. In the Country, global radiation on a horizontal plane varies between 1,785 and 2,206 kWh/m²/year. Based on global radiation on an inclined plane, analysis of terrain slope, forest density, and flooded areas, Mozambique's solar potential is 23 TWp. This research evaluates the technical and economic feasibility of implementing solar irrigation systems in family farming in the municipality of Boane,

Maputo Province. Considering that farmers currently utilize fuel-powered (gasoline/diesel) motor pumps or electric pumps, this research compares these systems with solar photovoltaic alternatives. Data on local solar radiation, characteristics of the Umbeluze River Basin, types of solar irrigation technologies, installation and operating costs, and profitability indicators were analyzed. The results show that, despite the high initial investment, solar systems are economically viable in the medium term and have a positive impact on environmental sustainability and the income of small producers.

Keywords: irrigation systems, photovoltaic solar systems, hydrographic basin, profitability indicators

Introducción

En Mozambique, la agricultura se destaca por su contribución a la economía, representando alrededor de un cuarto del PIB total, con más del 80 % de la fuerza laboral concentrada en este sector (Mucavele & Artur, 2021). Es la principal actividad económica que asegura la subsistencia de la población rural (Marassino, de Oliveira & Come, 2020; Marassino, de Oliveira & Pereira, 2021; Chihanhe, Mananze & Machava, 2022, Gobeia *et al.*, 2023).

Desde la independencia, la agricultura mozambiqueña se ha caracterizado, principalmente, por pequeñas fincas que cultivan menos de una hectárea, con actividades agrícolas realizadas de manera tradicional, con una mecanización, financiamiento e insumos agrícolas mejorados limitados, comprometiendo el desempeño de las familias de agricultores, las cuales constituyen la mayoría de los que practican la agricultura (Mosca, 2011; Siteo, 2014; Oliveira, 2016; Mosca, 2017; Rosário, 2019).

La agricultura familiar representa una importante base socioeconómica para el municipio de Boane, en la provincia de Maputo (Rosario, Ndava & Faduco, 2022), donde la producción depende en gran medida de la disponibilidad de fuentes de agua y energía para el riego. Actualmente, los agricultores utilizan motobombas alimentadas por combustible y bombas eléctricas, cuyos costos operativos son significativamente altos. En este contexto, el riego solar surge como una alternativa prometedora (Valverde *et al.*, 2022; Mendez Durán, 2023; Alata-Rey *et al.*, 2023; Manrique *et al.*, 2025).

El objetivo principal de la investigación es orientar la agricultura hacia un modelo energético más sostenible y autónomo. Esto implica un enfoque integral, que incluye la

instalación de paneles solares para generar energía para el bombeo de agua para el riego de cultivos y otras actividades agrícolas en el distrito de Boane, y la implementación estratégica de un almacenamiento y distribución eficientes. La investigación busca evaluar la viabilidad técnica y económica de este sistema de bombeo como una fuente de energía confiable y continua para las diversas necesidades energéticas de la agricultura, tomando como referencia un área agrícola de 3.8 hectáreas en el distrito y sobre la base de datos reales de radiación solar, tecnologías disponibles y escenarios de costo-beneficio.

Materiales y métodos

La investigación adoptó un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo). Se utilizaron las siguientes metodologías:

Se recopilaron datos secundarios sobre la radiación solar en Boane, utilizando información del Instituto Nacional de Meteorología (INAM, 2024). Posteriormente, se realizó una revisión de la literatura científica sobre las tecnologías de riego solar existentes (bombeo solar directo, sistemas con baterías, micro-irrigadores y goteros).

Se realizaron entrevistas a agricultores locales sobre los costos actuales y los desafíos que enfrentan, y finalmente, se desarrolló un modelo económico de escenarios comparativos: combustible vs. energía solar, además de un análisis de la disponibilidad de agua en la Cuenca del Río Umbeluze.

Análisis y discusión de resultados

Los datos de radiación solar muestran un promedio anual de más de 5.0 kWh/m²/día, lo que convierte a Boane en una ubicación ideal para la generación de energía fotovoltaica. Los sistemas que se analizaron variaron desde kits de 1 kWp (para 0.5 ha) hasta kits de 5 kWp (para 2 ha), con una eficiencia de bombeo promedio de 10 a 15 m³/día, como se muestra en la figura 1.

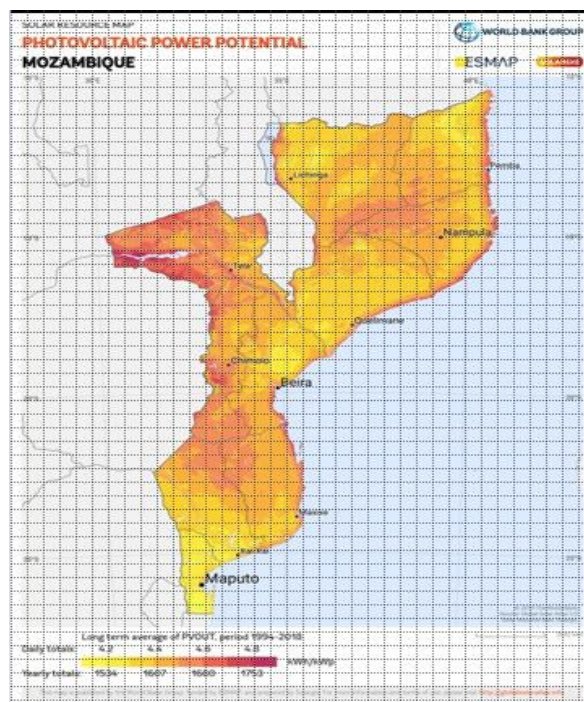


Figura 1. Potencial solar en Boane.

El mapa de la Figura 1 refleja los niveles promedio anuales de irradiación solar en Mozambique, expresados en kilovatios-hora por metro cuadrado por año ($\text{kWh/m}^2/\text{año}$). Boane, situada en la Provincia de Maputo, se encuentra dentro de una zona de alta irradiancia, que typically oscila entre 1,800 y 2,200 kWh/m^2 por año.

Estos niveles están alineados con una idoneidad excelente para sistemas de riego fotovoltaicos. Una alta Radiación Horizontal Global (GHI, por sus siglas en inglés) se traduce en una producción solar más eficiente, una mayor capacidad de bombeo de agua y una reducción de los períodos de recuperación de la inversión.

Datos específicos de la provincia de Maputo

La irradiación solar media diaria en la Provincia de Maputo promedia alrededor de 6.14 $\text{kWh/m}^2/\text{día}$ en verano, 5.48 $\text{kWh/m}^2/\text{día}$ en otoño, 4.31 $\text{kWh/m}^2/\text{día}$ en invierno y 5.71 $\text{kWh/m}^2/\text{día}$ en primavera.

La Figura 2 muestra una comparación entre los costos del uso de las motobombas a gasolina y los sistemas de riego solar para una hectárea irrigada durante un año.

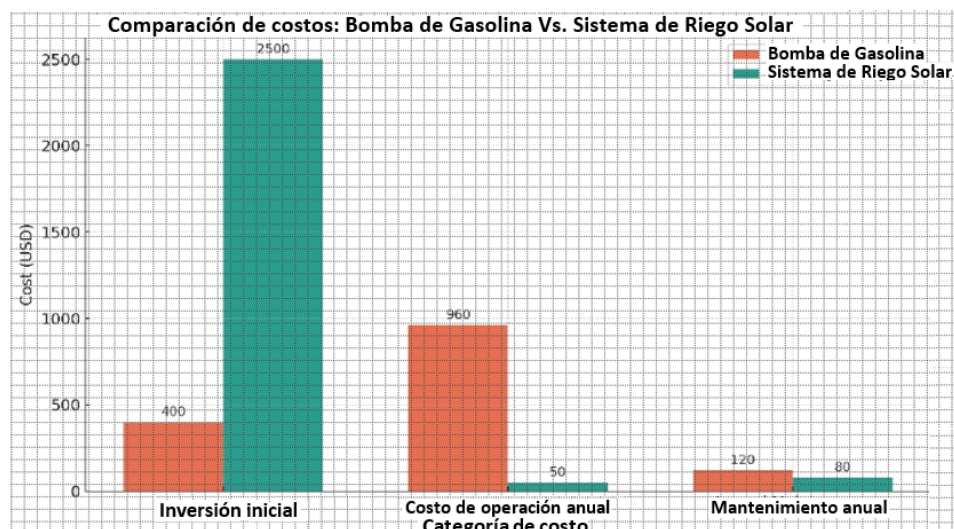


Figura 2. Comparación entre los costos del uso de motobombas a gasolina y los sistemas de riego solar.

La figura muestra que la inversión inicial es menor para las motobombas, pero tiene altos costos operativos. En términos de costos operativos anuales, estos son extremadamente altos para las motobombas (combustible), y casi nulos para los sistemas solares. El mantenimiento también es más costoso para las motobombas.

La inversión inicial para un sistema solar completo (bomba, panel, estructura y controlador) oscila entre 1,800 USD y 3,000 USD. Sin embargo, los costos operativos son casi cero. En contraste, las motobombas a gasolina implican costos mensuales de combustible de más de 80 USD teniendo en cuenta los precios actuales en Mozambique, lo que compromete la rentabilidad.

El análisis de retorno de la inversión (payback) indicó que, en promedio, el sistema solar se paga por sí mismo en 2.5 a 3 años, dependiendo del área irrigada y el tipo de cultivo. Los agricultores reportaron una mayor predictibilidad de la producción y menos fallos operativos.

Propuesta técnica para un sistema de bombeo solar para la agricultura familiar en un área de 3.8 ha

1. Contexto de Aplicación

Ubicación: Municipio de Boane, Provincia de Maputo

Fuente de agua: Río Umbeluze

Área agrícola: 3.8 hectáreas

Uso actual: Motobombas a gasolina, altos costos operativos

Objetivo: Implementar un sistema de bombeo solar sostenible y autónomo

2. Evaluación de los Requerimientos Diarios de Agua

Un cultivo promedio requiere: 5 mm/día = 5 L/m²/día

Área total: 3.8 ha = 38,000 m²

Cálculo del volumen requerido:

→ 38,000 × 5 = 190,000 litros = 190 m³/día

3. Determinación de la Energía Hidráulica Requerida

Altura de elevación (estimada): 15 metros

Energía útil requerida: ~12.94 kWh/día

Eficiencia total del sistema (paneles + bomba): 60%

4. Radiación Solar en Boane

Promedio: 5.2 kWh/m²/día

Tiempo útil de bombeo solar por día: ~6 horas

5. Dimensionamiento del Sistema Solar Fotovoltaico

Potencia nominal requerida: ~2.5 kWp

Margen de seguridad del 25% → sistema solar recomendado: 3.1 kWp

6. Costo Estimado del Sistema

Precio promedio por 1 kWp instalado: USD 1,300

Inversión estimada: → 3.1 × 1,300 = USD 4,030 (sistema completo: bomba, paneles, estructura, controlador, instalación).

7. Componentes del sistema propuesto

La Tabla 1 muestra una descripción de los componentes propuestos del sistema de bombeo de agua para el riego y sus especificaciones.

Tabla 1. Componentes del sistema propuesto

Componente	Especificación
Paneles fotovoltaicos	7 módulos de 450 W (total 3,150 W)
Bomba solar sumergible o de superficie	2.5-3 kW
Controlador MPPT	Compatible con la bomba y los paneles solares
Estructura de soporte anticorrosiva	ajutable a las condiciones locales del suelo
Sistema de tuberías	PVC o HDPE de alta presión
Tanque de agua (opcional)	5,000–10,000 litros

8. Comparación Económica (Anual)

Tipo de sistema Costo anual (USD) Vida útil Comentario

Motobomba (gasolina) USD 960+ ~5 años Altos costos recurrentes de combustible

Sistema solar USD ~50 (mantenimiento) 15–20 años

Inversión recuperada en ~3 años

9. Ventajas Innovadoras

- Hasta un 95% de reducción de los costos operativos
- Autonomía energética total
- Cero emisiones de CO₂
- Puede integrarse con sensores de riego inteligente
- Mayor previsibilidad y eficiencia en el uso del agua

Recomendaciones futuras: Instalar sensores de humedad del suelo y automatización con microcontroladores. Utilizar técnicas como el riego por goteo para la máxima eficiencia. La figura 3 ilustra la eficiencia energética del sistema solar propuesto.

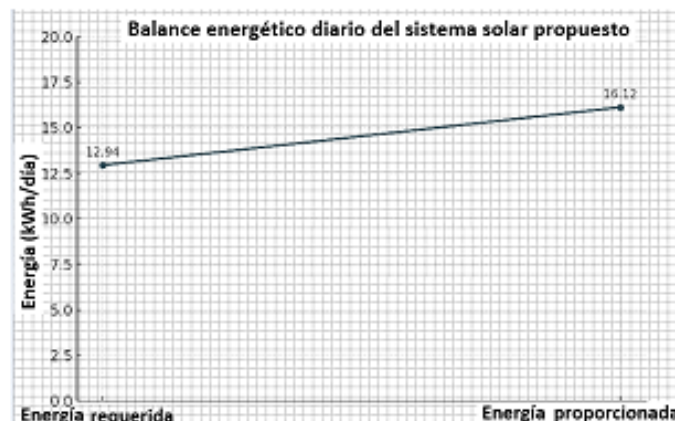


Figura 3. Balance Energético Diario del sistema solar.

La barra de la izquierda representa la energía requerida diariamente para bombear 190 m³ de agua desde el Río Umbeluze (aproximadamente 12.94 kWh). La barra de la derecha muestra la energía diaria suministrada por el sistema solar de 3.1 kWp en Boane (alrededor de 16.12 kWh/día), asegurando seguridad energética y autonomía total. Esta figura demuestra que el sistema tiene un excedente de energía, garantizando seguridad operativa incluso en días con poca radiación.

La Figura 4 muestra una representación del sistema propuesto para el bombeo de agua para los agricultores del distrito de Boane.

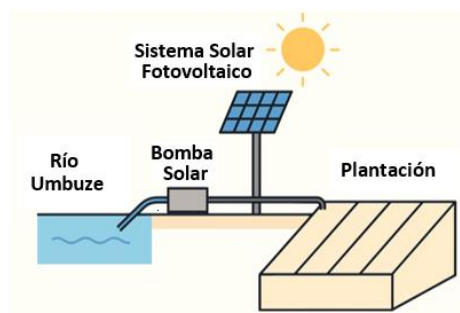


Figura 4. Imagen 2D del sistema solar fotovoltaico propuesto.

A continuación, se presenta una figura comparativa que ilustra la cantidad de agua a bombear mensualmente para una plantación de 3.8 hectáreas. La figura 5 revela la energía eléctrica requerida para este bombeo (en kWh) y también la energía que puede generar un sistema fotovoltaico de 3.1 kWp basado en la radiación solar media mensual en Boane.

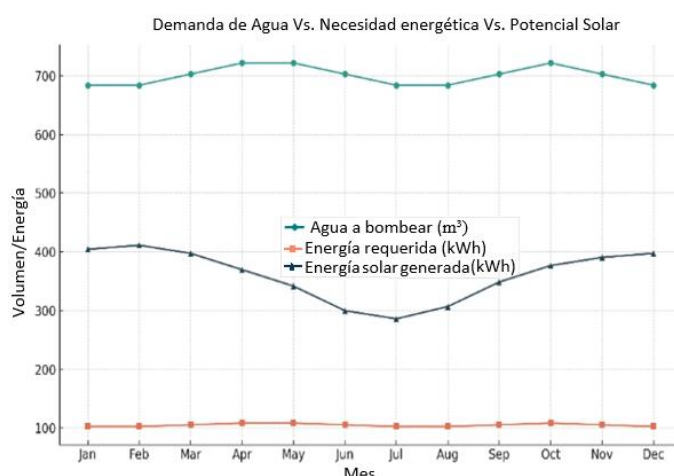


Figura 5. Análisis comparativo de la cantidad de agua a bombear a una plantación mensualmente.

Diseño completo e innovador de un sistema fotovoltaico de 3.1 kWp para satisfacer las necesidades de riego de una plantación de 3.8 hectáreas en el distrito de Boane, con agua captada del Río Umbeluze.

1. Supuestos Técnicos y Agronómicos

Ubicación:

Distrito: Boane, Provincia de Maputo, Mozambique

Fuente de agua: Río Umbeluze

Radiación solar media anual: ~5.4 kWh/m²/día (basado en mapas solares del sur de Mozambique)

Área Agrícola:

Área útil: 3.8 hectáreas = 38,000 m²

Cultivos típicos: vegetales y maíz (alta demanda de agua)

Requerimiento de riego promedio: 5 mm/día = 5 L/m²/día

⇒ Volumen total diario requerido = 38,000 m² × 5 L/m² = 190,000 L/día = 190 m³/día

2. Energía requerida para bombear 190 m³/día

Cálculo de la Energía Hidráulica:

Suponiendo que:

Altura manométrica total (HMT): 25 m (elevación, pérdidas, presión mínima)

Eficiencia total del sistema (bomba + controlador + tuberías): 55% (0.55)

Fórmula básica:

$$\text{Energy (kWh)} = p \cdot g \cdot \frac{QH}{\eta} \cdot 3.6 \times 10^6$$

Donde

p = 1000 kg/m³ (densidad del agua)

g = 9,81 m/s²

Q = 190 m³/día = 190.000 L/día

H= 25 m

η= 0,55

3. Energía Generada por el Sistema Solar de 3.1 kWp

$$\text{Energy day} = 3,1 \text{ kWp} \times 5.4 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ día}} \times 0.75 \text{ (factor of losses)}$$

Resultado: El sistema de 3.1 kWp no cubre la totalidad de la demanda energética diaria. Es necesario un dimensionamiento ajustado.

4. Dimensionamiento Adecuado de los Sistemas Fotovoltaicos

$$\text{Required power} = \frac{23,5}{5.4 \times 0.75} \approx 5.8 \text{ kWp}$$

Sistema recomendado: 6.0 kWp, con margen de seguridad.

5. Componentes Recomendados del Sistema

a. Paneles Solares

Potencia total: 6,000 Wp

Número de paneles: 15 × 400 Wp

b. Controlador de carga e inversor

Inversor híbrido o solar AC/DC de 5 kW con entrada MPPT

Compatible con bomba sumergible o de superficie

c. Bomba Solar

Tipo: Bomba sumergible solar AC/DC con un caudal de ~12 m³/h

Tiempo de operación: ~16 horas/mes por hectárea

d. Sistema de soporte y cableado

Estructura metálica fijada al suelo

Cables con protección UV

6. Innovación

Sistema inteligente con:

Sensores de humedad del suelo para riego bajo demanda

Controlador solar con IoT: monitoreo y apagado remoto

Tanque de compensación elevado: almacenamiento de agua bombeada durante las horas de máxima luz solar

Tabla 2. Estimación de Costos (valores aproximados en MZN)

Componente	Costo Estimado (MZN)
15 Paneles fotovoltaicos	225.000
Inversor híbrido de 5 kW	150.000
Bomba solar AC/DC	120.000
Estructura de fijación	60.000
Instalación y cables	55.000
Total estimado	610,000 MZN

En términos comparativos, un sistema con motobomba a gasolina puede costar 250,000 MZN + 400,000 MZN/año en combustible y mantenimiento.

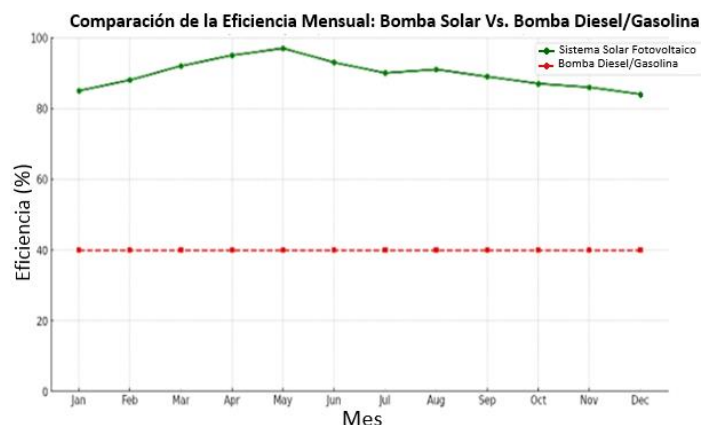


Figura 6. Comparación entre un sistema de motobomba y un sistema solar.

Este es un gráfico comparativo que ilustra la eficiencia mensual del sistema solar fotovoltaico propuesto en comparación con las motobombas accionadas por diésel o gasolina. Como se puede observar, el sistema solar mantiene una alta eficiencia durante todo el año, mientras que las motobombas tienen un rendimiento mucho peor y sistemático (Figura 7).

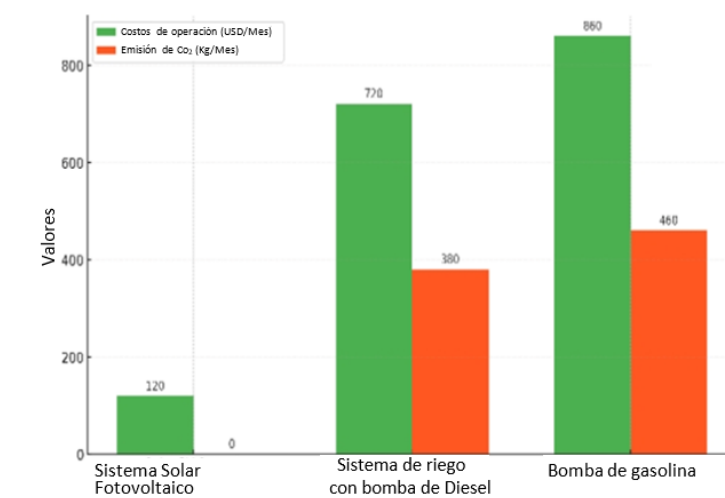


Figura 7. Comparación de los costos de operación y las emisiones de carbono de los sistemas de riego.

Este gráfico comparativo muestra los costos de operación y las emisiones de carbono de los tres sistemas de riego para 3.8 hectáreas desde la Cuenca del Umbeluze: Sistema Solar Fotovoltaico: costos de operación mínimos y cero emisiones de carbono. Bomba Diésel y Bomba a Gasolina: altos costos y altas emisiones de CO₂.

El sistema de 6 kWp es técnicamente factible y energéticamente autónomo para regar las 3.8 hectáreas. Tiene un período de recuperación de la inversión de ~3.5 años, con ahorros de energía y combustible significativos, además de ser sostenible, silencioso y no contaminante.

Los resultados de la investigación confirman los hallazgos de Et-taibi *et al.* (2024) sobre la importancia que la energía renovable está ganando en la agricultura, mejorando su sostenibilidad y reduciendo su impacto en el medio ambiente. A medida que la industria agrícola busca la autosuficiencia energética y la sostenibilidad, el uso de fuentes de energía como la solar está ganando popularidad.

También explican que las soluciones energéticas ecológicas no solo ayudan a reducir la huella de carbono de las operaciones agrícolas, sino que también traen consigo ahorro de costos a largo plazo.

La energía solar, en particular, es ampliamente utilizada en la agricultura. Los paneles solares pueden proporcionar energía para necesidades agrícolas como sensores, sistemas de riego e incluso centros de información completos. La energía solar hace que las granjas sean más independientes y reduce su dependencia de las fuentes de energía no renovables.

Es especialmente ventajoso en áreas sin redes eléctricas, lo que permite el desarrollo de actividades agrícolas más fluidas. La energía eólica es otro activo para las granjas ubicadas en regiones ventosas.

Conclusiones

Los sistemas de riego solar son técnicamente y económicamente viables para la agricultura familiar en Boane, especialmente considerando los altos niveles de radiación solar y los desafíos que suponen los combustibles fósiles. El reemplazo gradual de las motobombas por sistemas solares contribuirá a la sostenibilidad económica y ambiental de la región.

Referencias bibliográficas

Alata-Rey, J. E., Zingg-Rosell, A. F., Orellana-Pardave, J. A., & Altamirano-Chunga, L. A. (2023). La energía solar fotovoltaica en los sistemas de bombeo para acueductos:

- una revisión sistemática. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 6(12), 257-269.
<https://www.journalingeniar.journalgestar.org/index.php/ingeniar/article/view/153>
- Chihanhe, A.C., Mananze, S.E., & Machava, C.M. (5-8 de diciembre 2022). *O agronegócio em Moçambique: um olhar sobre o passado, presente e perspectivas futuras*. V Colóquio Nacional e I Internacional de Pesquisas em Agronegocios.
- Et-Taibi, B., Abid, M. R., Boufounas, E. M., Morchid, A., Bourhnane, S., Hamed, T. A., & Benhaddou, D. (2024). Enhancing water management in smart agriculture: A cloud and IoT-Based smart irrigation system. *Results in Engineering*, 22, 102283.
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102283>
- Gobeia, M. I. M., Schultz, G., Souza, M. & Gobeia, E. G. A. (2023). Avaliação dos impactos dos serviços públicos de extensão rural nas pequenas e médias explorações agrícolas na zona sul de Moçambique entre 2012 e 2020. RINTERPAP. *Revista Interdisciplinar de Pesquisas Aplicadas*, 1(2), 87-106.
<https://doi.org/10.47682/2675-6552.a2023v1n02p87-106>
- Instituto Nacional de Meteorologia. (INAM). (2024). *Boletim Climático Anual de Moçambique. Edição 11*. <https://inam.gov.mz/>
- Manrique, O.B., Alarcón, E.L., Machado, A.M., & Silva, M.L. (2025). El bombeo solar fotovoltaico: una tecnología para el desarrollo rural comunitario. *Universidad & Ciencia*, 14(1), 189-200.
<https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/8811/6212>
- Marassino, M.J., de Oliveira, M.L.R., & Come, S.F. (2020). Three decades of agricultural extension in Mozambique: between advances and setbacks. *Journal of Agricultural Studies*, 8(2), 418–39. <https://doi.org/10.5296/jas.v8i2.16647>
- Marassino, M.J., de Oliveira, M.L.R., & da Pereira, G. (2021). Agricultura familiar em Moçambique: Características e desafios. *Research, Society and Development*, 10(6).
<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15682>

- Mendez Durán, J.H. (2023). Energía solar en la agricultura: un estudio de caso de la parroquia de Majúa, Ecuador. *Ciencia Latina*, 7(1), 14427-14440. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.6144
- Mosca, J. (2011). Políticas agrarias y cambios en la agricultura de Mozambique (1975-2009). *Revistas Española de Estudios Agro sociales y Pesqueros*, 229, 79-116. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3744026>
- Mosca, J. (2017). Agricultura familiar em Moçambique: ideologias e políticas. *Revista NERA*, 20(38), 68-105. <https://doi.org/10.47946/rnera.v0i38.5296>
- Mucavele, C. & Artur, L. (2021). As metamorfoses dos serviços de extensão rural em Moçambique: um contributo ao debate sobre o modelo de extensão a praticar no país. *Observatório do Meio Rural*, 136(9). <https://omrmz.org/omrweb/publicacoes/dr-136>
- Oliveira, P.N. (2016). Agricultura familiar, cultura e economia em Moçambique. *Cadernos CERU, São Paulo*, 22(2), 156-170. <https://revistas.usp.br/ceru/article/view/125090>
- Rosário, N. M. (2019), Agronegócio em Moçambique: uma breve análise da situação de estrangeirização do agronegócio. *Sociedade e Território*, 31(1), 183-200. <https://doi.org/10.21680/2177-8396.2019v31n1ID12862>
- Rosário, N. M., Ndava, A. O., & Faduco, C. I. M. (2021). A extensão rural, agricultura e qualidade de vida: o caso de estudo dos agricultores do distrito de Boane, Moçambique. *Extensão Rural*, 28(1). <https://doi.org/10.5902/2318179665661>
- Sitoe, T. A. (2014). The challenges of agricultural research in Mozambique. *Developments in Question*, 12(25), 81-104. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75230088004>
- Valverde, A., Vargas, A.G., García, M., & Diaz, J.E. (2022). Impacto de la implementación del sistema de riego con energía solar en cultivos de limón. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 14(2), 90-107. <https://doi.org/10.22335/rlct.v14i2.1571>