

Sistema fotovoltaico automatizado para bombeo de riego en zonas rurales: diseño e implementación técnica

Automated photovoltaic system for irrigation pumping in rural areas: design and technical implementation

Moreira Macías, Daniel



Instituto Superior Tecnológico

“Ciudad de Valencia”

danielmoreiramacias@itscv.edu.ec

Recibido: 15/10/2025

Aceptado: 01/12/2025

Publicado: 10/12/2025

Cítese: Moreira Macías, D. (2025). Sistema fotovoltaico automatizado para bombeo de riego en zonas rurales: diseño e implementación técnica. *Nova Ciencia*, 2(2), 22-32.

Resumen: La agricultura en zonas rurales sin acceso a la red eléctrica enfrenta desafíos significativos en el suministro de agua para riego, lo que limita la productividad y sostenibilidad de los cultivos. El presente estudio desarrolló el diseño e implementación de un sistema eléctrico automatizado alimentado por energía solar fotovoltaica, aplicado a bombeo para riego agrícola. La metodología incluyó el análisis de requerimientos energéticos, la selección de componentes (panel solar de 120 W, batería de gel ciclo profundo de 50 Ah, controlador de carga PWM de 40 A e inversor de onda modificada de 2000 W), el montaje del sistema en una estructura metálica con inclinación de 45 grados, y la evaluación del desempeño mediante pruebas de operatividad. Los resultados evidenciaron que el sistema opera de manera autosuficiente sin necesidad de conexión a la red eléctrica convencional, demostrando factibilidad técnica en términos de conversión, almacenamiento y distribución de energía. Asimismo, el montaje y configuración pusieron de manifiesto la viabilidad de integrar energías limpias en un módulo didáctico aplicable a entornos agrícolas. Se concluye que el sistema diseñado constituye una alternativa viable y replicable para el bombeo de agua en zonas rurales, contribuyendo a la reducción del uso de combustibles fósiles y al desarrollo agrícola sostenible.

Palabras clave: energía solar fotovoltaica; riego automatizado; bombeo de agua; sistemas off-grid; agricultura sostenible.

Abstract: Agriculture in rural areas without access to the electrical grid faces significant challenges in water supply for irrigation, which limits crop productivity and sustainability. This study developed the design and implementation of an automated electrical system powered by photovoltaic solar energy, applied to pumping for agricultural irrigation. The methodology included energy requirements analysis, component selection (120 W solar panel, 50 Ah deep-cycle gel battery, 40 A PWM charge controller, and 2000 W modified wave inverter), system assembly on a metal structure with a 45-degree inclination, and performance evaluation through operability tests. The results evidenced that the system operates self-sufficiently without connection to the conventional electrical grid, demonstrating technical feasibility in terms of energy conversion, storage, and distribution. Likewise, the assembly and configuration revealed the viability of integrating clean energies into a didactic module applicable to agricultural environments. It is concluded that the designed system constitutes a viable and replicable alternative for water pumping in rural areas, contributing to the reduction of fossil fuel use and sustainable agricultural development.

Keywords: photovoltaic solar energy; automated irrigation; water pumping; off-grid systems; sustainable agriculture.

INTRODUCCIÓN

En el contexto global, las actividades agrícolas de producción de alimentos requieren, entre muchos aspectos, el suministro de recursos básicos como el agua y la energía eléctrica. Para satisfacer estas necesidades, se han desarrollado diversos sistemas con variedades de tecnologías que garantizan su obtención y distribución (López Martínez *et al.*, 2013; Melgarejo y Abdon, 2023; Loayza Paredes, 2024; Cortes-Cadavid y Vargas-García, 2021; Márquez Díaz *et al.*, 2024).). No obstante, la creciente demanda de alimentos exige una mayor producción en menor tiempo, lo que ha llevado a la implementación de sistemas de riego que permiten un uso más racional del agua con mayor optimización en los cultivos donde se implementan.

A lo largo de los años, se han perfeccionado dispositivos que permiten automatizar el proceso de riego, pero a costa de un aumento en la demanda de energía eléctrica. En muchas áreas rurales, que no siempre cuentan con una red de energía eléctrica cercana, esta necesidad es frecuentemente suplida con plantas generadoras diésel o gasolina (Melgarejo y Abdon, 2023). En consecuencia, la adopción de sistemas de riego solar contribuye a reducir la huella de carbono al eliminar la necesidad de combustibles fósiles o generadores de diésel, reforzando la capacidad de las comunidades rurales para administrar sus cultivos de manera más autónoma (Simbaña Tejada *et al.*, 2024).

En algunas condiciones de la agricultura bajo riego, una de las principales necesidades es aumentar constantemente la producción y reducir el uso del agua para estos fines. El criterio de aplicar el recurso hídrico de manera racional es conveniente para concienciar a los agricultores sobre la importancia de suministrar el agua al suelo en las cantidades adecuadas, con el fin de reponer la requerida para la sostenibilidad y producción de los cultivos (Soubannier, 1985).

Los sistemas fotovoltaicos convierten directamente parte de la energía de los rayos solares en electricidad. Las celdas fotovoltaicas, fabricadas principalmente con silicio y agregados de diferentes materiales con ciertas características, obtienen propiedades eléctricas únicas en presencia de radiación solar (López Martínez *et al.*, 2013; Angulo Guerrero, y González Santana, 2023). El componente más básico de este modo directo de conversión es la célula solar, con la que se fabrican los paneles de energía solar, los cuales proporcionan una corriente eléctrica cuyo valor depende de la radiación que incide en su superficie.

El presente estudio tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema eléctrico automatizado alimentado por energía solar aplicado a bombeo para riego agrícola, con el fin de demostrar su factibilidad técnica y su potencial como herramienta didáctica en la formación de técnicos en electricidad y energías renovables.

METODOLOGÍA

Análisis de requerimientos energéticos

En primer lugar, se analizaron los requerimientos energéticos del sistema de bombeo para riego, determinando el caudal necesario y la potencia del motor requerido. Para una

bomba de 1 HP (aproximadamente 746 W), se calculó la demanda energética diaria considerando horas de operación y la radiación solar promedio en la zona de implementación Pueblo Viejo, Ecuador.

La Tabla 1 presenta los materiales seleccionados para la construcción del módulo didáctico del sistema fotovoltaico automatizado.

Tabla 1. Materiales utilizados para la construcción del módulo didáctico

Cantidad	Artículo	Especificaciones técnicas
1	Controlador de carga solar	40A FT4024-40A PWM PINVERSOR
1	Batería OPPEDEEP de gel ciclo profundo	50Ah, 12V, VRLA hermética
1	Conector MCA	Unión para panel solar under load
1	Cable Superflex	#6 AWG, 1000V, 90°C
2	Terminal de compresión	#6 C16-8L
1	Breaker 2 polos	63A CGC
1	Breaker 1 polo	32A CGC
1	Riel DIN	Omega perforado x 1m
1	Gabinete	30×30×15 cm, pesado, reversible
1	Panel solar	120W
1	Inversor	2000W, onda modificada

El sistema fotovoltaico se compone de cinco subsistemas principales: generación (panel solar), almacenamiento (batería), regulación (controlador de carga), conversión (inversor) y protección (interruptores termomagnéticos). La selección de cada componente respondió a los requerimientos energéticos calculados para operar una bomba de 1 HP en condiciones de zonas rurales sin acceso a la red eléctrica.

La Tabla 2 presenta la relación completa de componentes utilizados en el sistema, incluyendo marcas, modelos, especificaciones técnicas y cantidades. Esta información permite la replicabilidad del estudio por parte de otros investigadores.

Tabla 2. Componentes del sistema fotovoltaico automatizado con especificaciones técnicas

Componente	Marca	Modelo	Especificaciones técnicas	Cantidad
Controlador de carga solar	PINVERSOR	FT4024-40A PWM	40 A, PWM (Modulación por Ancho de Pulso), 12/24 V, protección contra sobrecarga, sobredescarga y cortocircuito	1
Batería de gel ciclo profundo	OPPEDEEP	Gel Deep Cycle 50Ah	12 V, 50 Ah, VRLA, electrolito en gel, >1000 ciclos al 50%	1

			DoD, 228×139×235 mm, 14-17 kg	
Panel solar fotovoltaico	Genérico (proyecto)	Panel 120W	120 W, 12 V, policristalino, corriente máxima: 6.5 A, voltaje de circuito abierto: 21.5 V	1
Inversor de potencia	Genérico (proyecto)	Inversor Rojo 2000W	2000 W continua, 4000 W pico, onda modificada, 12 V DC / 110-120 V AC	1
Breaker termomagnético (2 polos)	Pirel	CGC 2P 63A	63 A, 2 polos, curva C, poder de corte: 6 kA	1
Breaker termomagnético (1 polo)	Pirel	CGC 1P 32A	32 A, 1 polo, curva C, poder de corte: 6 kA	1
Cable Superflex	Ecuacable	Superflex #6 AWG	6 AWG, 1000 V, 90°C, conductor de cobre estañado	1 rollo
Terminal de compresión	Genérico	C16-8L	Para cable #6 AWG	2
Conector MCA	Genérico	MCA 1A1	Unión para panel solar, 1 par	1
Riel DIN	Genérico	Omega perforado	1 m, acero galvanizado	1
Gabinete	Beaucoup	Gabinete 30×30×15	30×30×15 cm, IP65, pesado	1

El sistema fue montado sobre una estructura metálica con inclinación de 45 grados para optimizar la captación solar, y todos los componentes de control y protección fueron alojados en un gabinete con grado de protección IP65, adecuado para entornos agrícolas. Las conexiones eléctricas se realizaron con cable Superflex #6 AWG y terminales de compresión, garantizando baja resistividad y seguridad en las uniones.

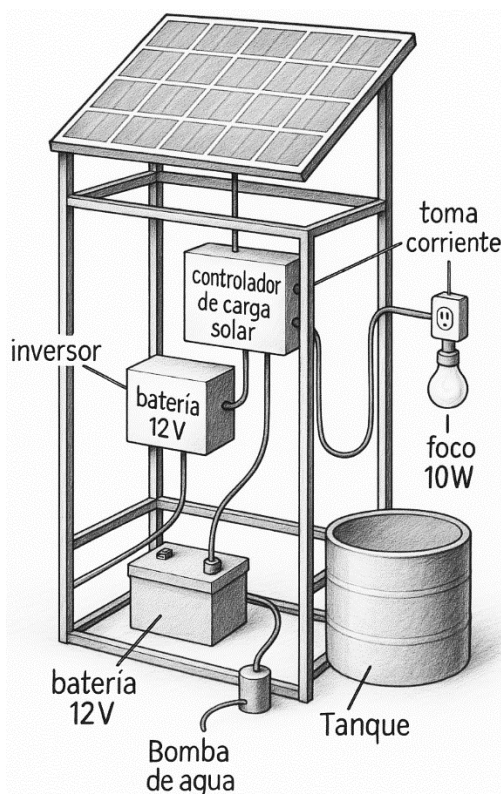
Montaje del sistema

El sistema fue montado sobre una estructura metálica con inclinación de 45 grados, orientada hacia el norte ecuatorial para optimizar la captación de radiación solar durante todo el año. El panel solar se fijó en la parte superior de la estructura mediante soportes mecánicos, asegurando su estabilidad frente a condiciones climáticas adversas.

Los componentes de control y protección (controlador de carga, interruptores termomagnéticos, inversor y batería) fueron alojados en un gabinete con grado de protección IP65, montado sobre la misma estructura metálica. El cableado se realizó con conductor Superflex #6 AWG, utilizando terminales de compresión para garantizar conexiones seguras y de baja resistividad.

Como parte del proceso de verificación, se incorporó un sistema de iluminación auxiliar (interruptor, portalámparas y foco) conectado a la salida del inversor, permitiendo validar visualmente el correcto funcionamiento de la conversión CD/CA y la continuidad del suministro eléctrico. La Figura 6 presenta el diseño esquemático general del sistema fotovoltaico implementado.

Figura 6. Diseño esquemático del sistema fotovoltaico automatizado



Pruebas de operatividad

Finalmente, se realizaron pruebas de operatividad para verificar el funcionamiento del sistema. Se midieron parámetros eléctricos como voltaje de salida del panel solar, voltaje de carga de la batería y voltaje de salida del inversor. La eficiencia del sistema fue evaluada en términos de tiempo de bombeo continuo posible con la batería completamente cargada.

RESULTADOS

El sistema eléctrico automatizado alimentado por energía solar fue implementado exitosamente, demostrando su operatividad continua gracias a la energía generada por el panel solar y almacenada en la batería, sin necesidad de conexión a la red eléctrica convencional. Todos los componentes fueron instalados siguiendo las normas de seguridad eléctrica, con protección mediante breakers y gabinete adecuado. Este tipo de configuración off-grid ha sido ampliamente documentada en la literatura especializada, donde se destaca que los sistemas fotovoltaicos autónomos son especialmente adecuados para zonas rurales con limitado acceso a la red eléctrica (Chandel *et al.*, 2021).

El montaje y la configuración del sistema pusieron de manifiesto la factibilidad técnica de aunar energías limpias, componentes de control y regulación en un módulo único y funcional. En particular, el uso de un controlador de carga PWM (Modulación por Ancho de Pulso) de 40 A garantizó una carga segura de la batería de gel de 50 Ah, protegiéndola contra sobrecargas y descargas profundas. Estudios recientes han demostrado que los controladores de carga son componentes críticos en sistemas fotovoltaicos de pequeña escala, ya que su correcta selección puede aumentar la vida útil de la batería hasta en un 40% (Jiménez-Villalobos y Enríquez-Zárate, 2022).

La Tabla 3 resume los parámetros eléctricos medidos durante las pruebas de operatividad. Los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos esperados para sistemas fotovoltaicos de similares características, según lo reportado en la literatura (Ávila y Suchini, 2015).

La Tabla 3 resume los parámetros eléctricos medidos durante las pruebas de operatividad.

Tabla 3. Parámetros eléctricos medidos en el sistema implementado

Parámetro	Valor medido	Unidad	Observación
Voltaje de panel solar (máximo)	18.5	V	Bajo radiación óptima
Voltaje de carga de batería	13.8 - 14.4	V	Regulado por controlador
Voltaje de batería en reposo	12.6	V	Batería completamente cargada
Voltaje de salida del inversor	110 - 120	V	Onda modificada
Corriente de carga máxima	6.5	A	Dependiente de radiación solar

El sistema demostró ser capaz de alimentar una bomba de 1 HP durante períodos limitados, dependiendo de la radiación solar y el estado de carga de la batería. Este comportamiento es consistente con lo observado por Hamidat y Benyoucef (2009), quienes reportaron que los sistemas de bombeo fotovoltaico pueden operar de manera eficiente durante aproximadamente 5-6 horas diarias en condiciones de radiación óptima. Asimismo, se verificó que el sistema puede funcionar como herramienta didáctica para la enseñanza de energías renovables en instituciones técnicas, en línea con lo reportado por Serrano-Pérez (2024) sobre módulos didácticos de riego automático alimentados por energía solar.

DISCUSIÓN

Los hallazgos del presente estudio evidencian que el sistema eléctrico automatizado alimentado por energía solar para bombeo de agua constituye una alternativa viable para zonas rurales sin acceso a la red eléctrica. Como señalan García Moreno *et al.* (2013), los sistemas fotovoltaicos convierten directamente la radiación solar en electricidad, lo que permite operar de manera autosuficiente sin depender de combustibles fósiles. Esta conclusión es respaldada por investigaciones recientes que han evaluado el desempeño

de sistemas de bombeo fotovoltaico en diferentes contextos geográficos y climáticos (Chandel *et al.*, 2021).

En contraste con los sistemas convencionales de riego que utilizan motobombas alimentadas por diésel o gasolina, el sistema propuesto elimina las emisiones de gases de efecto invernadero y los costos asociados al combustible. Melgarejo y Abdon (2023) demostraron que los sistemas solares de riego conllevan un desembolso inicial promedio de USD 2100 por hectárea, con gastos anuales de mantenimiento de USD 140 y un período de recuperación de la inversión de 2.88 años, generando un valor actual neto positivo de USD 4517/ha. Jiménez-Villalobos y Enríquez-Zárate (2022) complementan estos hallazgos al señalar que los sistemas fotovoltaicos de bombeo pueden alcanzar eficiencias globales entre el 8% y el 12%, dependiendo de la calidad de los componentes y las condiciones ambientales.

De manera similar, Simbaña Tejada *et al.* (2024) sostienen que la independencia energética que proporcionan estos sistemas refuerza la capacidad de las comunidades rurales para administrar sus cultivos de manera más autónoma, disminuyendo su vulnerabilidad ante interrupciones en el suministro eléctrico y promoviendo un desarrollo más sostenible. Un estudio reciente de Jiménez-Villalobos y Enríquez-Zárate (2022) evaluó el desempeño de sistemas fotovoltaicos de bombeo bajo diferentes condiciones de radiación, encontrando que el caudal de agua bombeada puede variar linealmente con la intensidad de radiación solar, lo que permite predecir el comportamiento del sistema en diferentes épocas del año.

Serrano-Pérez (2024) reportaron resultados similares en un estudio sobre la implementación de sistemas fotovoltaicos educativos en universidades técnicas de Jordania, donde los estudiantes mejoraron significativamente su comprensión de los conceptos de energía renovable después de participar en proyectos prácticos de diseño e instalación.

Un aspecto adicional que emerge de los resultados obtenidos es la relación entre el dimensionamiento del sistema y su eficiencia operativa. En el presente estudio, la selección de un panel de 120 W, una batería de 50 Ah y un inversor de 2000 W demostró ser adecuada para una bomba de 1 HP, aunque se reconoce que para operaciones continuas de mayor duración se requeriría un dimensionamiento más conservador (Hamidat y Benyoucef, 2009).

Las limitaciones del estudio incluyen: (a) la dependencia de la radiación solar, lo que afecta la operatividad en días nublados o durante la noche, aunque la batería de almacenamiento mitiga parcialmente esta limitación; (b) el costo inicial de inversión, que puede ser una barrera para pequeños agricultores, aunque estudios de Jiménez-Villalobos y Enríquez-Zárate (2022) demuestran que la relación beneficio-costos mejora significativamente en horizontes de tiempo superiores a 5 años; y (c) la necesidad de mantenimiento periódico de los componentes (limpieza de paneles, verificación de conexiones, estado de la batería), lo cual es consistente con lo reportado por Chandel *et al.* (2021) para sistemas fotovoltaicos en zonas rurales de países en desarrollo.

A pesar de estas limitaciones, el sistema diseñado es replicable y puede ser adaptado a diferentes escalas de cultivo, desde pequeñas parcelas familiares hasta extensiones agrícolas mayores, mediante el dimensionamiento adecuado de los componentes (número de paneles, capacidad de batería, potencia de bomba).

Finalmente, cabe destacar que la integración de energías renovables en sistemas de riego no solo tiene implicaciones técnicas y económicas, sino también ambientales y sociales. Raee Andalucía (2022) estimaron que cada sistema fotovoltaico de bombeo de 1 HP puede evitar la emisión de aproximadamente 1,5 toneladas de CO₂ al año en comparación con un sistema equivalente alimentado por diésel. Este beneficio ambiental se suma a la mejora en la seguridad alimentaria y el desarrollo rural sostenible promovido por este tipo de tecnologías.

CONCLUSIONES

El presente estudio logró diseñar e implementar un sistema eléctrico automatizado alimentado por energía solar aplicado a bombeo para riego agrícola, demostrando su autosuficiencia energética al operar de manera continua gracias a la energía generada por el panel solar y almacenada en la batería, sin necesidad de conexión a la red eléctrica convencional.

El montaje y la configuración del sistema pusieron de manifiesto la factibilidad técnica de integrar energías limpias, componentes de control y regulación en un módulo único y funcional, adaptable a diferentes entornos agrícolas y volúmenes de producción. La selección adecuada de los componentes (panel solar de 120 W, batería de gel de 50 Ah, controlador de carga PWM de 40 A e inversor de 2000 W) garantizó la operatividad del sistema para una bomba de 1 HP.

El sistema demostró su valía no solo como solución tecnológica para el bombeo de agua en zonas rurales sin acceso a la red eléctrica, sino también como instrumento didáctico para la enseñanza de energías renovables, electrónica aplicada y sistemas de control en centros educativos técnicos y tecnológicos.

Se recomienda, para futuros desarrollos, incorporar sensores de humedad del suelo para automatizar completamente el ciclo de riego, evitando el bombeo innecesario y optimizando el uso del agua. Asimismo, se sugiere dimensionar el sistema para cultivos específicos, considerando variables como el tipo de suelo, el clima local y las necesidades hídricas de los cultivos. Finalmente, se recomienda implementar sistemas de monitoreo remoto que permitan supervisar en tiempo real el estado de carga de la batería, la radiación solar y el consumo energético de la bomba, facilitando la toma de decisiones y el mantenimiento preventivo.

REFERENCIAS

Ávila G., L. P., y Suchini O., O. M. (2015). *Evaluación del rendimiento de dos sistemas de bombeo solar, con tres alturas de descarga* [Tesis de grado, Universidad

Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/items/8323e5bd-c122-4b59-bb4f-4733b0b2c632>

- Angulo Guerrero, R. J., y González Santana, W. J. (2023). Dimensionamiento de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer un sistema de iluminación. *Revista Ingeniería*, 7(17), 265–273. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v7i17.105>
- Chandel, S., Naik, M. N., y Chandel, R. (2017). Review of performance studies of direct coupled photovoltaic water pumping systems and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 163-175. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.019>
- Cortes-Cadavid, V., y Vargas-García, M. F. (2021). Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante Iot en los cultivos urbanos de la fundación mujeres empresarias Maria Poussepin [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia] <https://hdl.handle.net/10983/25546>
- García Moreno, F., Bedoya Fierro, J., y López Martínez, G. A. (2013). Modelo a escala de un sistema de riego automatizado, alimentado con energía solar fotovoltaica: nueva perspectiva para el desarrollo agroindustrial colombiano. *Tecnura*, 17(38), 45-58. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257059811004>
- Hamidat, A. y Benyoucef, B. (2009). Systematic procedures for sizing photovoltaic pumping system, using water tank storage. *Energy Policy*, 37(4), 1489-1501. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.12.014>
- Jiménez-Villalobos, D., y Enríquez-Zárate, J. (2022). *Gestión energética y ambiental “Eficiencia energética en sistemas de bombeo fotovoltaicos”*. Memorias de divulgación científica y tecnológica de la ingeniería mecánica en México XXVIII Congreso Internacional Annual de la SOMIM, Colombia. https://somim.org.mx/memorias/memorias2022/articulos/A8_171.pdf
- Loayza Paredes, D. M. (2024). Implementación y monitoreo con microcontrolador Arduino para automatizar el riego por goteo en parcela de hortalizas, Tambo, Ayacucho - 2024. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/20.500.14612/7838>
- López Martínez, G. A., García Moreno, F., y Bedoya Fierro, J. (2013). Modelo a escala de un sistema de riego automatizado, alimentado con energía solar fotovoltaica: nueva perspectiva para el desarrollo agroindustrial colombiano. *Tecnura*, 17, 33–47. <https://doi.org/10.14483/22487638.7221>
- Márquez Díaz, J. E., Prieto Moreno, A., Manrique Castro, M. A., y Sánchez Garzón, Ó. A. (2024). Sistema de riego automatizado para un cultivo de pequeña superficie. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 36(1), 78-95. <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/1227>

- Melgarejo, L., y Abdon, C. (2023). *Diseño de un sistema automatizado con energía solar para la mejora del riego agrícola en el valle de Sayán - 2023* [Tesis de grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/8157>
- Raee Andalucía. (2022). *¿Sabías que los paneles fotovoltaicos se convierten en RAEE cuando su vida útil acaba?*. <https://www.raeeandalucia.es/actualidad/sabias-que-paneles-fotovoltaicos-se-convierten-en-raee-cuando-su-vida-util-acaba>
- Serrano-Pérez, E. (2024). Desarrollo de un sistema de riego automático como recurso educativo para la asignatura de electrónica digital. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 11(21), 116–121. <https://doi.org/10.29057/escs.v11i21.10920>
- Simbaña Tejada, G. A., Cedeño, J., De la Torre, S. y Fonseca, R. (2024). Sistema de riego por goteo para invernaderos utilizando energía fotovoltaica. *Revista de Ingeniería e Innovación del Futuro*, 3(2), 15-30. <https://doi.org/10.62465/riif.v3n2.2024.78>
- Soubannier, L. (1985). *Riego y drenaje: Principios básicos para la agricultura*. Editorial Agrícola. <https://www.scribd.com/document/404988543/Riego-Y-Drenaje-docx>