

Cultivos Hidropónicos con Sistemas Embebidos e Iluminación Solar Para Casas Sostenibles en Zonas Aisladas

SI Palomino-Resendiz ^a., I.S. Gutiérrez-Hernández B ^b David Alejandro Tellaeche Ramirez ^c., Miguel Angel Baños Ontiveros B ^c., Andres Calvillo Tellez ^d*

^a Instituto Politécnico Nacional ESIME Zac.

^b Instituto Politécnico Nacional UPIITA

^c Universidad Tecnológica de Tijuana

^d Instituto Politécnico Nacional CITEDI

Resumen

La disminución de tierras cultivables y el alto costo del suelo hacen que la agricultura convencional sea menos viable. La hidroponía surge como una alternativa eficiente, permitiendo cultivar sin suelo y optimizando recursos. Sin embargo, su dependencia energética es un desafío, especialmente en zonas aisladas. Este trabajo propone un sistema hidropónico autosuficiente, impulsado por energía solar y gestionado mediante sensores IoT y sistemas embebidos. El diseño incluye paneles solares de 100 W, baterías de 100 Ah, un controlador de carga, un inversor de 500 W y sensores para monitorear variables como temperatura, pH y flujo de agua. Se utiliza la técnica NFT (Nutrient Film Technique) con una bomba de 25 W, optimizando el consumo eléctrico. Los datos se procesan con microcontroladores de bajo consumo, permitiendo una gestión autónoma del riego y nutrientes. Además, la conectividad mediante LoRaWAN o NB-IoT facilita el monitoreo remoto. Este sistema es ideal para hogares autosustentables, comunidades rurales y agricultura urbana, reduciendo el consumo de agua en un 90 % y eliminando la dependencia de combustibles fósiles. Su diseño modular y escalable lo convierte en una solución sostenible para el futuro de la producción agrícola.

Palabras clave— Hidroponía Energía solar IoT Sistemas embebidos Sostenibilidad.

Abstract

The decrease in arable land and the high cost of soil make conventional agriculture less viable. Hydroponics emerges as an efficient alternative, allowing cultivation without soil and optimizing resources. However, its energy dependence is a challenge, especially in isolated areas. This work proposes a self-sufficient hydroponic system, powered by solar energy and managed by IoT sensors and embedded systems. The design includes 100 W solar panels, 100 Ah batteries, a charge controller, a 500 W inverter, and sensors to monitor variables such as temperature, pH, and water flow. The NFT (Nutrient Film Technique) technique is used with a 25 W pump, optimizing electrical consumption. The data is processed with low-consumption microcontrollers, allowing autonomous management of irrigation and nutrients. In addition, connectivity through LoRaWAN or NB-IoT facilitates remote monitoring. This system is ideal for self-

sustaining homes, rural communities, and urban agriculture, reducing water consumption by 90% and eliminating dependence on fossil fuels. Its modular and scalable design makes it a sustainable solution for the future of agricultural production..

Keywords— Hydroponics Solar Energy IoT Embedded Systems Sustainability.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población y la disminución de tierras cultivables han hecho que los sistemas agrícolas convencionales sean menos viables debido al aumento del costo del suelo (Altieri, 1999). Como alternativa, la hidroponía se ha consolidado como una tecnología eficiente, permitiendo el cultivo sin necesidad de suelo y optimizando el uso de agua y nutrientes. Esta técnica es especialmente beneficiosa para zonas con espacio limitado o terrenos de baja calidad. Sin embargo, un desafío clave en los sistemas hidropónicos es la dependencia energética. Muchas instalaciones dependen de la red eléctrica para alimentar bombas, sensores y sistemas de control, lo que puede ser un obstáculo en zonas aisladas sin acceso confiable a electricidad. Para abordar este problema, la combinación de energía solar, sistemas embebidos e IoT ofrece una solución sostenible, garantizando la autonomía del sistema y reduciendo costos operativos. Este trabajo explora el desarrollo de un sistema hidropónico energéticamente independiente, utilizando paneles solares fotovoltaicos, almacenamiento en baterías, sensores inteligentes y controladores embebidos. La integración de estas tecnologías permite monitorear y ajustar las condiciones del cultivo en tiempo real, optimizando la producción y minimizando el impacto ambiental.

2. CONTENIDO

1. Hidroponía Inteligente con IoT y Sistemas Embebidos

Los sistemas hidropónicos modernos dependen de un entorno controlado para maximizar la productividad. El uso de sensores IoT y sistemas embebidos permite la automatización del riego, la dosificación de nutrientes y el monitoreo de variables clave como:

- Temperatura y humedad ambiental
- pH y conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva
- Flujo y nivel de agua en los reservorios

Para procesar esta información y optimizar el sistema, se emplean microcontroladores de bajo consumo, como ESP32, Raspberry Pi o ARM Cortex-M, que ejecutan algoritmos de control y aprendizaje automático para ajustar las condiciones de manera autónoma.

Además, la conectividad en zonas remotas se logra mediante protocolos de comunicación de bajo consumo, como LoRaWAN y NB-IoT, que permiten la transmisión de datos en tiempo real sin necesidad de infraestructura de internet convencional.

2. Energía Solar y Almacenamiento en Baterías

Dado que el sistema hidropónico requiere un suministro eléctrico constante para operar bombas y sensores, la solución ideal en zonas aisladas es el uso de paneles solares fotovoltaicos con almacenamiento en baterías (Redondo, 2023).

La solución en polvo para hidroponía InterGarden, está compuesta por los siguientes elementos: • Nitrógeno (N) 10.00% • Fósforo asimilable (P2O5) 8.00% • Potasio asimilable (K2O) 18.00% • Azufre (S) 2.50% • Magnesio (Mg) 1.80% • Calcio (Ca) 5.90% • Hierro (Fe) 0.10% • Boro (B) 0.002% • Zinc (Zn) 0.010% • Cobre (Cu) 0.0002% • Manganeso (Mn) 0.002%

El diseño incluye:

- Paneles solares de alta eficiencia (100 W por módulo, con posibilidad de escalabilidad).
- Controlador de carga solar para gestionar la energía y evitar sobrecarga en las baterías.
- Baterías de 100 Ah con capacidad de autonomía de hasta 4 días en condiciones óptimas.
- Inversor de onda senoidal pura (500 W) para convertir la corriente continua en alterna, optimizando el rendimiento del sistema.

Este enfoque elimina la dependencia de combustibles fósiles y reduce la huella de carbono, haciendo que el sistema sea completamente autosuficiente.

3. Diseño y Optimización del Sistema Hidropónico

Se ha desarrollado un prototipo de cultivo basado en la técnica de película nutritiva (NFT, Nutrient Film Technique), en la que una fina capa de solución fluye continuamente sobre las raíces de las plantas. Este sistema requiere una bomba de agua de 25 W, que solo opera menos de una hora al día, optimizando el consumo energético.

Para garantizar la eficiencia del sistema, se incorporan:

- Flotadores de nivel, que activan la bomba solo cuando es necesario.
- Sensores de flujo, para evitar desperdicio de agua y detectar fallos en el sistema.
- Iluminación LED de espectro ajustable, que complementa la luz solar y mejora la fotosíntesis de las plantas.

4. Aplicaciones y Beneficios

Este sistema de hidroponía solar es ideal para:

- Hogares autosustentables, proporcionando alimentos frescos sin depender de la red eléctrica.
- Comunidades rurales y zonas aisladas, donde el acceso a la electricidad es limitado o costoso.
- Proyectos urbanos de agricultura vertical, maximizando la producción en espacios reducidos.
- Sistemas modulares escalables, que pueden ser ampliados según la demanda del usuario.

Los beneficios clave incluyen:

- ✓ Reducción del consumo de agua en un 90% respecto a la agricultura tradicional.
- ✓ Independencia energética, eliminando costos operativos y emisiones contaminantes.
- ✓ Optimización de la producción, mediante sensores y algoritmos de control.
- ✓ Bajo mantenimiento, gracias a la automatización del sistema.

El sistema de cultivo basado en la técnica de película nutritiva (NFT) está equipado con tecnología IoT para un monitoreo preciso y en tiempo real de las variables críticas que afectan el crecimiento de las plantas. Este sistema de monitoreo permite la recolección y análisis de datos clave, optimizando la gestión de los recursos y mejorando la eficiencia del cultivo.

En la Figura 1, se presentan las métricas registradas por el sistema IoT, incluyendo parámetros como el pH, la conductividad eléctrica (EC), la temperatura del agua y el flujo de la solución nutritiva, los cuales son fundamentales para garantizar condiciones óptimas de crecimiento.

La Figura 2 muestra el sistema de captación y almacenamiento de energía solar, el cual proporciona una fuente de energía sostenible para la operación del sistema NFT, alimentando tanto la bomba de circulación de nutrientes como los sensores de monitoreo.

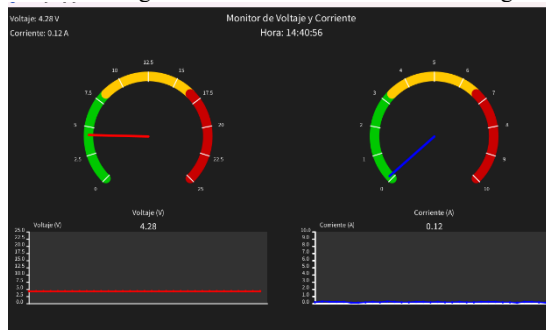
En la Figura 3, se observan los principales componentes del sistema de cultivo: las semillas, las tuberías por donde circula la solución nutritiva y el depósito donde se prepara dicha solución antes de su distribución a las plantas y recuperación.

La Figura 4 ilustra la solución nutritiva, compuesta por los nutrientes esenciales disueltos en agua, asegurando que las plantas reciban los elementos necesarios para su crecimiento óptimo.

Finalmente, la Figura 5 presenta las pipetas que alimentan directamente las plántulas del jardín hidropónico NFT solar, facilitando una distribución homogénea de los nutrientes y optimizando la absorción por parte de las raíces.

Este enfoque integrado de monitoreo IoT y energía solar garantiza un sistema hidropónico eficiente, autónomo y sostenible, reduciendo el desperdicio de agua y maximizando la productividad del cultivo.

Fig. 1. Métricas IoT del sistema de energía.



Fuente: elaboración propia a partir de “referencia”.

Fig. 2. Evaluación de métricas de energía/.



Fuente: elaboración propia a partir de “referencia”.

Fig. 3. Semillas, tuberías de nutrientes, y la solución nutritiva de las plantas.



Fuente: elaboración propia a partir de “referencia”.

Fig. 4. Solución con nutrientes.



Fuente: elaboración propia a partir de “referencia”.

Fig. 5. Pipetas alimentando las plántulas del jardín hidropónico NFT solar



Fuente: elaboración propia a partir de “referencia”.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La viabilidad de la hidroponía en zonas aisladas y donde la optimización del recurso hídrico es importante, así como el recurso energético, permite expandir las potenciales aplicaciones. Ya que cada cultivo requiere de características específicas entre otros, humedad, temperatura. Por la región las condiciones climáticas modifican el crecimiento de los cultivos en ciertas épocas del año.

Lo que inicio con métricas sobre captación de energía eléctrica, la cual esta sobrada para las pruebas realizadas/ todo indica, que el recurso energético solo emplea un 10% de lo colectado, esto permite proyectar, que existen cultivos que en esta zona requieren una cierta temperatura para su crecimiento y no solo nutrientes y agua, por lo que se pueden alimentar en calefactores, bombas centrífugas, aeración. Es el uso de sistemas hidropónicos con energía solar es una solución sostenible para la producción de alimentos en áreas remotas, reduciendo la dependencia de tierras agrícolas y garantizando cultivos en cualquier estación del año.

Eficiencia energética y autonomía
La integración de paneles solares, controladores de carga, baterías e inversores permite un suministro energético continuo, minimizando costos operativos y evitando la dependencia de fuentes de energía convencionales.

Optimización con sistemas embebidos e IoT. Sensores y controladores embebidos mejoran la eficiencia del sistema, permitiendo monitoreo en tiempo real de variables críticas como temperatura, humedad y pH, optimizando el uso de agua y nutrientes.

Sostenibilidad y reducción de impacto ambiental
La combinación de energías renovables y automatización reduce el uso de combustibles fósiles y la huella de carbono, promoviendo una producción agrícola más ecológica y eficiente.

Escalabilidad y aplicaciones futuras
Este sistema puede adaptarse a distintas capacidades de producción y expandirse a otros sectores, como la electrificación rural y la agricultura de precisión, mejorando la seguridad alimentaria en comunidades aisladas.

Trabajo futuro.

Se trabajará el prototipo de cultivo NFT para obtener las métricas de rendimiento iniciales. Entre las métricas clave a considerar son: Tasa de crecimiento de las plantas (ej. altura por semana, biomasa) Consumo de agua y nutrientes (litros por día, eficiencia en la absorción) pH y EC de la solución nutritiva (rango óptimo y variaciones) Producción esperada (rendimiento por metro cuadrado o por planta)

4. REFERENCIAS

- [1] Putera, P., Novita, S. A., Hamid, M. I., & Syafii, S. (2014). Development and Evaluation of Solar-Powered Instrument for Hydroponic System in Limapuluh Kota, Indonesia. *Development and Evaluation of Solar-Powered Instrument for Hydroponic System in Limapuluh Kota, Indonesia*, 4(5), 284-288.
- [2] Costo Martínez, B. L., & Amaya Tibocha, P. A. (2021). VIVIENDAS MAPVIS: Modelo de autoconstrucción para viviendas sostenibles enfocada en poblaciones vulnerables ubicadas en Quibdó-Chocó.
- [3] Villalobos, D. B. C. (2023). Diseño de sistemas para monitoreo y control de cultivos verticales.
- [4] Zhang, Y., Chen, T., Gasparri, E., & Lucchi, E. (2025). A Modular Agrivoltaics Building Envelope Integrating Thin-Film Photovoltaics and Hydroponic Urban Farming Systems: A Circular Design Approach with the Multi-Objective Optimization of Energy, Light, Water and Structure. *Sustainability*, 17(2), 666.
- [5] Ghiasi, M., Wang, Z., Mehrandezh, M., & Paranjape, R. (2023). A Systematic Review of Optimal and Practical Methods in Design, Construction, Control, Energy Management and Operation of Smart Greenhouses. *IEEE Access*.
- [6] ZAATOUT, A. (2023). *Intelligent Management of a Hydroponic Greenhouse Powered by a PV System*

Using Internet of Things and Artificial Intelligence (Doctoral dissertation, Ibn Khaldoun University).

[6] Altieri, M. (1999). Bases científicas para una agricultura sustentable. *Montevideo: Nordan Comunidad*.

Redondo Quintero, D. (2023). Desarrollo de un sistema de cultivo hidropónico vertical automatizado y remoto.