Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Agropecuaria ISSN: 2448-6620

DISEÑO DE PROTOTIPO DE SISTEMA HIDROPÓNICO AUTOMATIZADO

Teresa Wendolin González Sánchez[1]; María Piedad Salazar Martinez[1]; Sergio Arturo García Gutiérrez[1]; Alejandro Guzmán Zazueta[1]; Luis Ramón Sánchez Rico[1]

[1]Tecnológico Nacional de México, TecNM-Roque. Autor de correspondencia: L22980820@roque.tecnm.mx

RESUMEN

La automatización de sistemas hidropónicos mediante tecnologías IoT representa una alternativa viable para optimizar recursos y mejorar el monitoreo agrícola. El objetivo del presente trabajo fue diseñar un prototipo de sistema hidropónico automatizado basado en IoT para el monitoreo de variables ambientales y el control automático del riego. El sistema fue desarrollado utilizando un microcontrolador ESP32 como unidad central de procesamiento, integrando sensores de temperatura y humedad ambiental, sensor de humedad, sensor de nivel de agua, módulo relevador y bomba de agua. La metodología incluyó el diseño electrónico del prototipo, integración de sensores y desarrollo de lógica de control automático. El sistema permite adquirir datos en tiempo real y activar automáticamente la bomba de agua según las condiciones detectadas por los sensores. Como resultado, se obtuvo un prototipo funcional capaz de automatizar el monitoreo y control básico de un sistema hidropónico mediante componentes de bajo costo y fácil integración. Se concluye que el diseño propuesto constituye una alternativa viable para aplicaciones de agricultura inteligente y representa una base para futuras implementaciones orientadas a optimizar la producción hidropónica.

Palabras clave: *hidroponía, IoT, automatización, ESP32, monitoreo.*

INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna enfrenta importantes desafíos relacionados con el incremento de la demanda alimentaria y la disminución de recursos naturales disponibles. En este contexto, la hidroponía se ha consolidado como una alternativa eficiente para la producción agrícola, debido a que permite cultivar plantas sin necesidad de suelo mediante el uso de soluciones nutritivas controladas (Resh, 2013).

Uno de los principales retos de los sistemas hidropónicos es el monitoreo constante de variables ambientales y operativas, tales como temperatura, humedad, nivel de agua y condiciones del sistema de riego. La supervisión manual de estos parámetros puede generar errores humanos y afectar la eficiencia del cultivo (Jones, 2005).

El desarrollo de tecnologías basadas en Internet de las Cosas (IoT) ha permitido implementar soluciones de automatización agrícola mediante sensores, microcontroladores y sistemas de monitoreo remoto capaces de recopilar y procesar información en tiempo real (Wolfert et al., 2017).

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un prototipo de sistema hidropónico automatizado basado en IoT, utilizando un microcontrolador ESP32 para el monitoreo de variables ambientales y el control automático de una bomba de agua mediante sensores y actuadores integrados.

MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del prototipo se realizó en el aula de Tecnologías de la Información del Tecnológico Nacional de México, campus Roque, Extensión Apaseo el Alto. El sistema fue diseñado utilizando un microcontrolador ESP32 como unidad principal de procesamiento y control, seleccionado por su conectividad Wi-Fi integrada y compatibilidad con sensores digitales y analógicos (Arduino, s.f.).

El prototipo integró un sensor DHT11 para la medición de temperatura y humedad ambiental, un sensor de humedad, sensor de nivel de agua, módulo relevador de un canal y una bomba de agua DC. Los componentes fueron interconectados mediante conexiones directas al ESP32 para permitir la adquisición de datos y el control automático del sistema de riego. La programación del sistema se realizó mediante Arduino IDE utilizando lenguaje C++. Se implementaron rutinas de adquisición de datos, procesamiento de señales y activación automática de la bomba de agua mediante el módulo relevador.

Arquitectura del sistema. La arquitectura del prototipo se diseñó bajo un enfoque modular basado en IoT, donde el ESP32 funciona como unidad central encargada de la adquisición, procesamiento y control de datos. Los sensores conectados permiten obtener información ambiental en tiempo real, mientras que el módulo relevador actúa como interfaz de control para la activación de la bomba hidráulica.

El flujo de funcionamiento inicia con la lectura periódica de los sensores. Posteriormente, el microcontrolador procesa la información y determina si las condiciones registradas requieren activar el sistema de riego. En caso necesario, el ESP32 envía una señal digital al módulo relevador para encender la bomba de agua. La arquitectura implementada permite futuras ampliaciones mediante la incorporación de nuevos sensores y plataformas de monitoreo remoto, favoreciendo la escalabilidad del sistema y su aplicación en agricultura inteligente.

Cuadro 1. Componentes principales utilizados en el prototipo.

Componente	Función
ESP32	Procesamiento y control del sistema
Sensor DHT11	Medición de temperatura y humedad
Sensor de humedad	Detección de humedad
Sensor de nivel de agua	Monitoreo del nivel de agua
Módulo relevador	Activación de la bomba
Bomba de agua DC	Circulación de agua

Fuente de alimentación	Suministro energético

El funcionamiento del sistema consiste en la lectura periódica de los sensores conectados al ESP32. Cuando los valores detectados indican niveles bajos de humedad o requieren circulación de agua, el sistema activa automáticamente la bomba hidráulica. Una vez alcanzadas las condiciones adecuadas, el sistema desactiva el actuador de manera automática.

Para la visualización de información se contempló el desarrollo de una interfaz web utilizando HTML5, CSS3 y JavaScript. Asimismo, se consideró la implementación futura de Node.js y Chart.js para la visualización y almacenamiento de datos en tiempo real (Node.js, s.f.; Chart.js, s.f.). El diseño también contempla futuras integraciones de sensores de pH, conductividad eléctrica e intensidad lumínica con el propósito de ampliar la capacidad de monitoreo del sistema hidropónico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El prototipo desarrollado permitió integrar de manera funcional sensores, actuadores y módulos de control dentro de una arquitectura basada en IoT. El sistema fue capaz de monitorear variables ambientales y activar automáticamente la bomba de agua mediante el módulo relevador, permitiendo automatizar parcialmente el funcionamiento del sistema hidropónico.

Uno de los principales aportes del prototipo es el uso de componentes electrónicos de bajo costo y fácil integración, lo que favorece el desarrollo de soluciones accesibles para pequeños productores y aplicaciones educativas relacionadas con agricultura inteligente.

La utilización del ESP32 proporciona ventajas importantes debido a su conectividad inalámbrica y capacidad de procesamiento local, permitiendo futuras ampliaciones hacia plataformas de monitoreo remoto y almacenamiento de datos en la nube, coincidiendo con tendencias actuales de automatización agrícola (Verdouw et al., 2016).

El diseño propuesto facilita la integración de sensores y actuadores mediante conexiones simples, lo cual reduce la complejidad de instalación y representa una ventaja importante frente a sistemas convencionales que requieren configuraciones técnicas avanzadas.

Asimismo, el diseño del prototipo favorece la implementación de sistemas de agricultura inteligente orientados al uso eficiente de recursos hídricos y energéticos. La automatización del sistema de riego permite disminuir la intervención manual y mejorar la estabilidad operativa del cultivo hidropónico.

En comparación con sistemas hidropónicos tradicionales, la propuesta desarrollada ofrece ventajas relacionadas con monitoreo continuo, capacidad de expansión tecnológica y reducción de costos de implementación mediante el uso de hardware de código abierto y componentes comerciales de bajo costo.
El enfoque modular también facilita el mantenimiento y sustitución de componentes electrónicos, permitiendo adaptar el sistema a diferentes configuraciones de cultivo y necesidades de producción agrícola.
Como limitación del trabajo, el sistema requiere pruebas experimentales prolongadas en condiciones reales de cultivo para validar la precisión de los sensores y la estabilidad operativa del prototipo. Asimismo, será necesario evaluar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones ambientales y tipos de cultivo hidropónico.

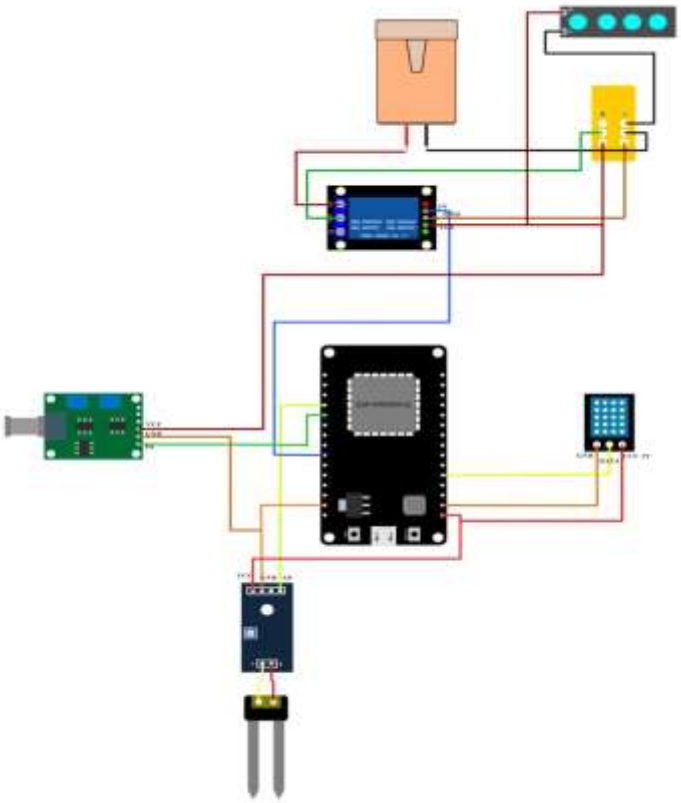

Figura 4. Diseño electrónico del prototipo hidropónico automatizado basado en ESP32.

Como trabajo futuro se contempla la incorporación de conectividad en la nube para monitoreo remoto mediante dispositivos móviles. Asimismo, se prevé integrar sensores de pH, conductividad eléctrica e intensidad lumínica para ampliar la capacidad de análisis del sistema.

También se considera implementar algoritmos de control inteligente basados en aprendizaje automático con el propósito de optimizar automáticamente las condiciones del cultivo hidropónico.

CONCLUSIONES

El diseño de un prototipo de sistema hidropónico automatizado basado en IoT representa una alternativa viable para la automatización de procesos agrícolas mediante tecnologías embebidas.

La integración de sensores ambientales, control automático de riego y monitoreo mediante ESP32 permite mejorar la supervisión de variables críticas dentro del sistema hidropónico y optimizar el funcionamiento del cultivo.

El prototipo desarrollado demuestra la factibilidad de implementar soluciones de bajo costo orientadas a la agricultura inteligente, contribuyendo al uso eficiente de recursos y a la automatización de sistemas hidropónicos.

Como trabajo futuro se contempla la incorporación de sensores adicionales, conectividad en la nube, almacenamiento histórico de datos y algoritmos inteligentes para optimización automática del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Kodmany, K. (2018). *The vertical farm: A review of developments and implications for the vertical city*. Buildings, 8(2), 24. https://doi.org/10.3390/buildings8020024

Arduino. (s.f.). *Arduino IDE*. Arduino. Recuperado de https://www.arduino.cc/en/software

Banerjee, C., & Adenaeuer, L. (2014). *Up, up and away! The economics of vertical farming*. Journal of Agricultural Studies, 2(1), 40–60. https://doi.org/10.5296/jas.v2i1.4526

Chart.js. (s.f.). *Chart.js documentation*. Recuperado de https://www.chartjs.org/docs/latest/

Express.js. (s.f.). *Express.js documentation*. Recuperado de https://expressjs.com/

Jones, J. B. (2005). *Hydroponics: A practical guide for the soilless grower* (2nd ed.). CRC Press.

Node.js. (s.f.). *Node.js documentation*. Recuperado de https://nodejs.org/en/docs

Resh, H. M. (2013). *Hydroponic food production: A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower* (7th ed.). CRC Press.

SQLite. (s.f.). *SQLite documentation*. Recuperado de https://www.sqlite.org/docs.html

Verdouw, C. N., Wolfert, J., Beulens, A. J. M., & Rialland, A. (2016). *Virtualization of food supply chains with the internet of things*. Journal of Food Engineering, 176, 128–136. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.11.009

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). *Big data in smart farming: A review*. Agricultural Systems, 153, 69–80. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023