

Monitoreo inteligente de invernadero a escala basado en el Internet de las Cosas (IOT)

Cesar Pacheco Zavala¹, Rebeca Sofia Hernández Varela¹, Alfredo Emmanuel Gutiérrez Avelar¹, Martin Alejandro Mora Martínez¹, Noe Saldaña Robles¹ y Guillermo Tapia Tinoco¹

¹División de Ciencias de la Vida (DICIVA). Universidad de Guanajuato. Campus Irapuato-Salamanca. Ex Hacienda El Copal, Carretera Irapuato-Silao Km. 9, Irapuato, Gto. 36500 México.

c.pachecozavala@ugto.mx¹, rs.hernandezvarela@ugto.mx¹, ae.gutierrezavelar@ugto.mx¹, ma.moramartinez@ugto.mx¹, saldanar@ugto.mx¹, g.tapia@ugto.mx¹

Resumen

Este artículo presenta el diseño y desarrollo de un sistema de monitoreo y control para un invernadero a escala utilizando la tecnología de Internet de las cosas (por sus siglas en inglés IOT). El monitoreo y control se implementa mediante una estructura distribuida de tres sistemas embebidos basados en el microcontrolador ESP32. Cada sistema embebido contiene un microcontrolador, el cual se conecta a una red WiFi e intercambia información con un gestor denominado Broker mediante el protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Se describe el prototipo del invernadero, el montaje de sensores y el control de bombas y ventiladores. Además, se detalla el diseño de los algoritmos implementados en cada uno de los ESP32 y del software de monitoreo y control mediante la plataforma Node-RED. Por último, se presentan los resultados de las pruebas de funcionalidad, demostrando la efectividad y utilidad del sistema desarrollado.

Palabras clave: Invernadero inteligente, Internet de las cosas (IOT), ESP32, MQTT.

Introducción

Los invernaderos desempeñan un papel crucial en la producción agrícola al permitir el cultivo de plantas en condiciones controladas y protegidas. Sin embargo, mantener un ambiente óptimo dentro de un invernadero puede ser un desafío, debido a las variaciones climáticas y las necesidades específicas de cada tipo de cultivo.

A raíz de estas situaciones, se han venido desarrollando nuevas tecnologías que deriven en conocer el estado de los cultivos, que van desde las condiciones de humedad del suelo, temperatura, y niveles de radiación. La posibilidad de la incorporación de las tecnologías relacionadas con el Internet de las Cosas (IOT), la recolección de información, el monitoreo y la evaluación de un sistema de cultivo resulta determinante para una efectiva toma de decisiones (Mohanraj I 2012),

Los avances en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la última década, han logrado que estos conceptos importantes, las IOT y el computo en la nube se hayan integrado notoriamente en las diversas soluciones en los diferentes campos de acción (Popovic, 2017),

En este contexto el objetivo del diseño es crear un sistema integral de monitoreo y control para un invernadero. Se implementarán sensores estratégicos para medir variables ambientales como temperatura, humedad y actuadores para controlar dispositivos como bombas de riego y ventiladores. Se desarrollará un software en Node-RED para gestionar los datos de los sensores y programar acciones de control, brindando una interfaz gráfica intuitiva para monitorear y supervisar el sistema en tiempo real. Con este enfoque, se busca mantener el ambiente óptimo para el crecimiento de los cultivos y mejorar la eficiencia agrícola.

La interacción del usuario con el sistema está dada por el manejo de un módulo web, que permite el control permanente y el análisis de los datos, logrando tomar decisiones de forma inmediata. Basado en el flujo de información constante proveniente del sistema, que pueden ser a través de la visualización del comportamiento de los datos recibidos o de las alertas que este mismo genere de forma automática y que podría colocar en riesgo la integridad del cultivo.

Sistemas embebidos de monitoreo y control

La Figura 1 muestra el diagrama de bloques de los sistemas embebidos Alpha y Delta implementados para el monitoreo de las variables de temperatura y humedad en el invernadero. Se puede observar que ambos sistemas se conectan via Wifi y no tienen ninguna conexión alámbrica entre ellos. El sistema Delta está integrado por el ESP32_1 y un sensor de humedad y temperatura DHT11. Con este sistema se miden las variables de temperatura y humedad dentro del invernadero. Por su parte al sistema Alpha se le agrega un sensor de humedad del suelo FC-28. Con este sistema se mide la temperatura y humedad fuera del invernadero y la humedad de la tierra dentro del invernadero.

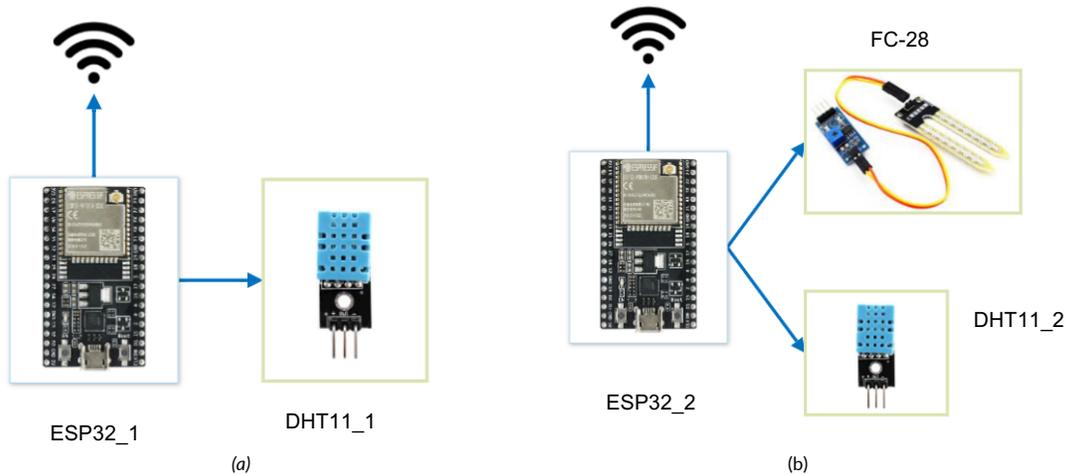


Figura 1. Sistemas de monitores Alpha y Delta. (a) Sistema de monitoreo Delta. (b) Sistema de monitoreo Alpha.

La Figura 2 muestra el sistema implementado para la etapa de control de motores. Esta está integrada por el ESP32_3, una batería, un par de ventiladores y una bomba de riego. Se utiliza una tarjeta de relevadores para controlar la potencia entregada a los motores desde la batería. Cada uno de los sistemas embebidos es alimentado a un voltaje de 5V.

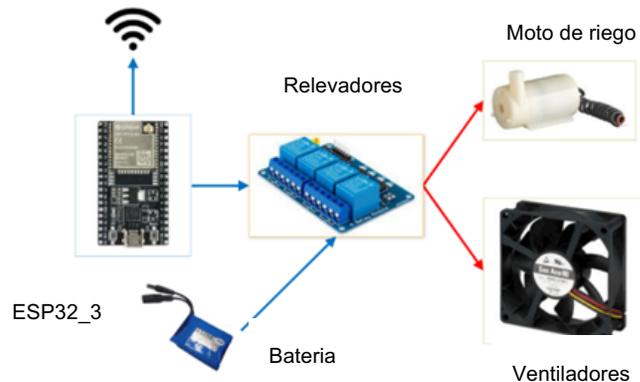


Figura 2. ESP32 de Control de motores

Diseño del programa de control de los sistemas embebidos desarrollados en Arduino IDE

En la Figura 3 (a) se muestra el diagrama de flujo implementado en Arduino IDE para realizar el control del sistema Delta. Este comienza con una etapa de inicialización del WiFi y bróker, así como las librerías a utilizar. Posteriormente se realiza la configuración del hardware del ESP32_1 para realizar la lectura de datos y envío de información vía Wifi al bróker. En este caso solamente se configura la entrada para el sensor DHT11_1. En el lazo principal se verifica que el cliente esté conectado al bróker y se toma la lectura de temperatura y humedad al sensor DHT11_1. Posteriormente se publican los datos medidos y se envían al bróker para su lectura en Node-Red. Finalmente, el ESP32_1 entra en modo de sueño profundo durante 2 minutos con el objetivo de ahorrar energía. Al salir de dicho modo el ciclo vuelve a comenzar para tomar la siguiente lectura. Por su parte en la Figura 3(b) se muestra el diagrama de flujo para el sistema Alpha. Se puede observar que su estructura es similar al sistema delta con la diferencia que se agrega la lectura del sensor de humedad de suelo.

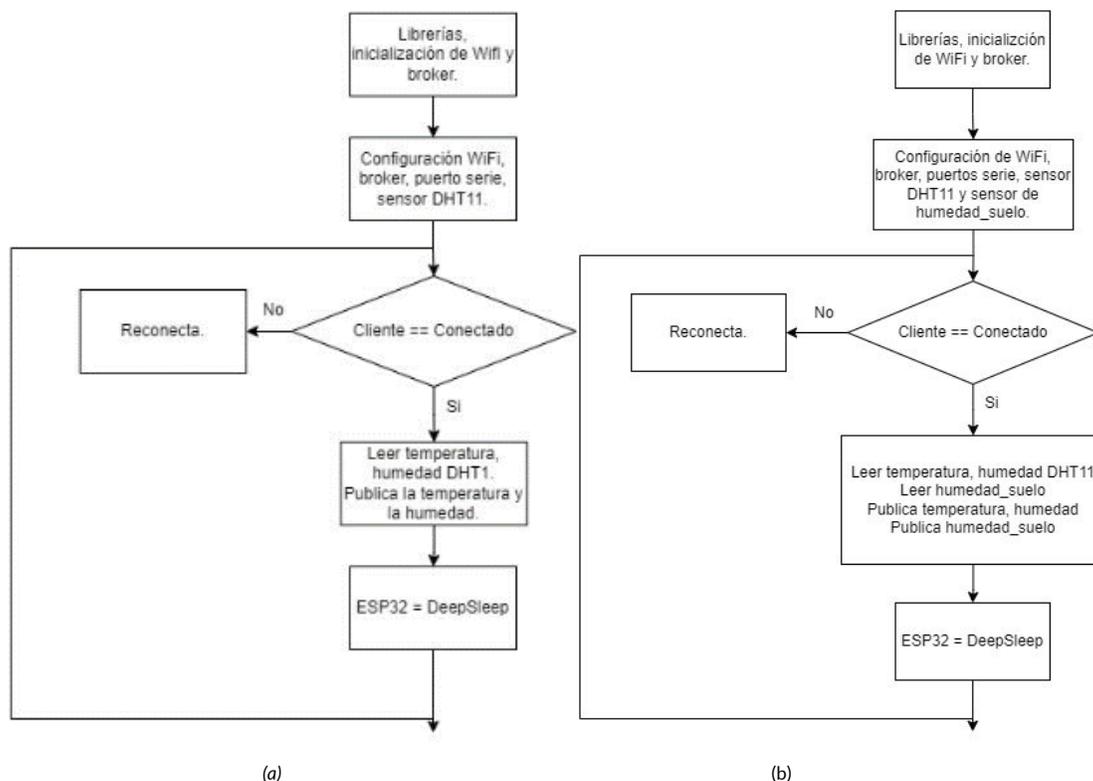


Figura 3. Diagramas de flujo de los sistemas embebidos. (a) Delta, (b) Alpha

En la Figura 4 se muestra el diagrama de flujo implementado en Arduino IDE para realizar el control del sistema de control de motores. Al igual que los diagramas de flujo anteriores se comienza con una etapa de inicialización del Wifi y bróker, así como las librerías a utilizar. Posteriormente se realiza la configuración del hardware del ESP32_3 para realizar la lectura de datos y envío de información vía Wifi al bróker. Para este sistema se configuran las salidas digitales que controlaran el motor de riego y los ventiladores a través de la tarjeta de relevadores. En el lazo principal se verifica que el cliente esté conectado al bróker, si esto se cumple, se verifica si el valor del tópic se actualizó. El tópic es el identificar utilizado por el bróker para controlar cada uno de los motores y es parte del protocolo MQTT. Posteriormente por medio de Node-RED en la aplicación se modifica manualmente el valor del payload con un botón tipo switch que nos genera un valor de 0 cuando está apagado y 1 cuando está encendido. De esta manera, si el botón está activado el payload se actualiza de manera que puedan encender o apagar, ya sea los ventiladores o el motor, según corresponda. El término payload se utiliza en el protocolo MQTT para almacenar el valor de la variable a controlar.

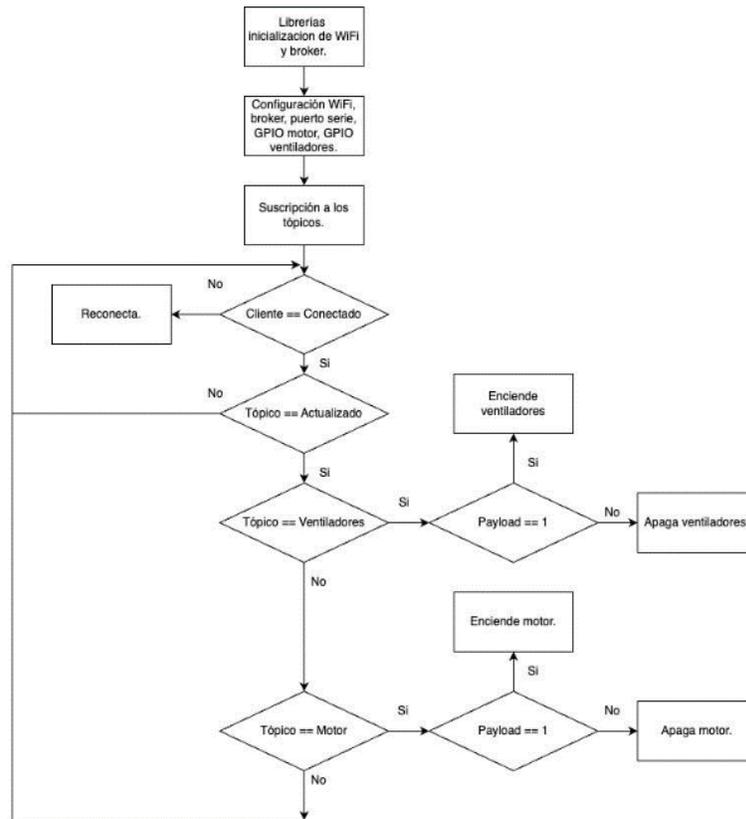


Figura 4. Diagrama de flujo del sistema de control de motores

Diseño del software de monitoreo y control mediante Node-RED

Node-Red es un editor de flujo basado en el navegador donde se pueden añadir nodos y conectarlos entre sí con el fin de que se comuniquen entre ellos. La Figura 5 muestra el flujo implementado en Node-Red que tiene como objetivo intercambiar información con los sistemas Alpha, Delta y de control de motores mediante el protocolo MQTT. El flujo contiene nodos de entrada o salida MQTT y nodos de instrumentos o Dashboards. Los nodos MQTT nos permiten recibir o enviar información al Broker y posteriormente distribuirla a los dispositivos suscritos a dicho tópico. Los nodos de entrada MQTT se indican en la figura mediante recuadros en color rojo. Estos nodos de entrada reciben las señales de temperatura y humedad de los sistemas Alpha y Delta y los envían a su respectivo instrumento. Los nodos MQTT de salida se indican mediante un recuadro en color azul y estos tienen como objetivo controlar los ventiladores y bombas del sistema de control de motores desde la interfaz gráfica. Los nodos de instrumentos permiten generar una interfaz gráfica como la mostrada en la Figura 6. Para esta interfaz se utilizan nodos de medición tipo radial para desplegar las mediciones de temperatura y humedad. Para el control de los motores se utilizan interruptores y el nodo remote "access" permite mostrar la interfaz gráfica en dispositivos móviles. La interfaz permite monitorear y controlar el invernadero en tiempo real. Dicho control se realiza desde cualquier ubicación física con la condición de que se tenga conexión a internet. Node-Red tiene la flexibilidad de ejecutarse desde una computadora personal, laptop o teléfono independiente lo que proporciona una gran flexibilidad de portabilidad.

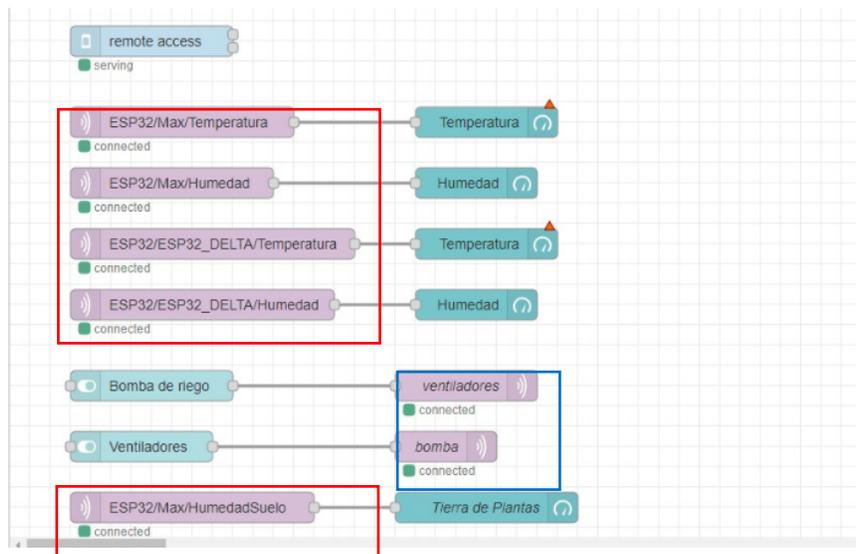


Figura 5. Flujo implementado en Node-Red para el monitore y control via MQTT



Figura 6. Interfaz gráfica desarrollada en Node-Red para el monitoreo y control.

Resultados y discusión

En esta sección muestran los resultados obtenidos tras la construcción del prototipo y la instalación de todo el sistema de monitoreo y control, donde se instalaron los tres sistemas embebidos mencionados anteriormente. En la siguiente figura se muestra el prototipo final del invernadero con todos los componentes instalados, las dimensiones del invernadero son de 1.5 m de largo, 1m de ancho y 1.5 m de alto considerando la altura total. Los sistemas embebidos se encuentran distribuidos en el invernadero y no existe conexión alamburada entre ellos. El envío de información se realiza vía WiFi y el único cableado existente es para alimentar los sistemas embebidos mediante eliminadores de 5V. Una mejora futura es la alimentación de los sistemas embebidos mediante baterías lo que permitirá un comportamiento modular y eliminar el cableado. En la imagen se puede apreciar claramente el diseño del invernadero, con sus paredes transparentes y techo inclinado para captar la luz solar de manera óptima.



Figura 7. Prototipo de invernadero

La Figura 8(a) muestra el interior del invernadero en pleno funcionamiento, donde se pueden apreciar los cultivos en crecimiento y algunos de los sistemas embebidos y actuadores. En la Figura 8(b) se muestra el sistema embebido de control de motores y el sistema embebido Delta. Se aprecian claramente que los sistemas embebidos son alimentados mediante un eliminador de 120V CA a 5V CD para su funcionamiento. El sistema embebido dedicado al control de motores está conectado al sistema de riego y se encarga de ajustar el riego automatizado según las necesidades específicas de los cultivos. Además, está encargado del control del ventilador lo que permite regular la ventilación y mantener un ambiente óptimo para el desarrollo de las plantas. El sistema embebido Delta incluye un sensor de humedad y temperatura que se encarga de medir las variables internas del invernadero en tiempo real.



Figura 8. Estructura interna del invernadero (a) Interior del invernadero inteligente. (b) Ubicación de sistemas embebidos

La Figura 9 presenta los sensores del sistema embebido Alpha. La Figura 9(a) muestra el sensor de humedad del suelo FC-28, el cual está estratégicamente ubicado en el suelo con el objetivo de medir con precisión la humedad del suelo en tiempo real. La Figura 9(b) muestra la ubicación estratégica del sensor DHT11 en el exterior del invernadero. Esta disposición permite tomar decisiones informadas sobre la ventilación y el riego, optimizando el crecimiento de los cultivos y promoviendo una agricultura más eficiente y sostenible. El sistema embebido Alpha se ubica dentro del invernadero próximo a ambos sensores. En la figura se indica mediante un recuadro en color rojo.



Figura 9. Sensor de Humedad Instalado en ESP32 ALPHA. (a) Sensor FC-28 instalado en cultivo, (b) Sensor FC-28

La Figura 10 ilustra el sistema de riego por goteo implementado en el invernadero, el cual está conectado al sistema embebido de control de motores. En la imagen, se puede observar claramente la bomba sumergida, la cual es parte fundamental del sistema de riego automatizado. El ESP32 de control de motores, se encarga de gestionar la activación y desactivación de la bomba de manera eficiente, asegurando un riego preciso y adecuado para cada cultivo. Además, se muestra el sistema de tuberías de riego por goteo que se extiende por el invernadero, distribuyendo el agua de forma controlada y precisa a las plantas. Esta figura destaca la integración efectiva del sistema de riego por goteo con el control de motores mediante el ESP32_3, lo que contribuye a una irrigación óptima y a un uso más eficiente del agua, beneficiando el crecimiento saludable de los cultivos y mejorando la productividad agrícola en el invernadero.



Figura 10. Sistema de riego por goteo. (a) Mecanismo de goteo, (b) Bomba sumergida

Conclusiones

En conclusión, el diseño y desarrollo del sistema de monitoreo y control para invernaderos mediante IOT ha demostrado ser una solución eficiente y efectiva para mejorar la producción agrícola y optimizar el uso de recursos. La implementación exitosa de sensores y actuadores estratégicamente ubicados ha permitido obtener datos en tiempo real sobre las condiciones ambientales dentro del invernadero y realizar acciones

de control automatizado. La aplicación de esta tecnología podría impactar en un crecimiento más saludable de las plantas, un ahorro significativo de agua y energía, y una reducción de riesgos en la cosecha. Sin embargo, para trabajos futuros, se sugiere continuar optimizando los sensores, integrar inteligencia artificial y avanzar en la automatización para una gestión aún más precisa y autónoma. Además, es importante considerar el uso de energías renovables y hacer el sistema escalable y adaptable a diferentes tamaños y cultivos de invernaderos. La evaluación económica y la exploración de su aplicación en comunidades agrícolas rurales serán fundamentales para promover una agricultura más sostenible y eficiente en el futuro.

Bibliografía/Referencias

- Gómez, J. E., Castaño, S., Mercado, T., Fernández, A., & García, J. (2017). Sistema de internet de las cosas (IOT) para el monitoreo de cultivos protegidos. *Ingeniería e innovación*, 5(1).
- Mohanraj, I & Ashokumar, Kirthika & Naren, J. (2016). Field Monitoring and Automation Using IOT in Agriculture Domain. *Procedia Computer Science*. 93. 931-939. 10.1016/j.procs.2016.07.275. Li Tan. 2016. Cloud-based Decision Support and Automation for Precision Agriculture in Orchards. *IFAC-PapersOnLine* 49-16(2016) 330-335.
- Tomo, P. & Nedeljko, L. & Pesic, Ana & Zecevic, Z. & Krstajic, B. & Đukanović, Slobodan. (2017). Architecting an IoT-enabled platform for precision agriculture and ecological monitoring: A case study. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017. 255-265. 10.1016/j.compag.2017.06.008
- Jorge Gómez, SISTEMA DE INTERNET DE LAS COSAS (IoT) PARA EL MONITOREO DE CULTIVOS