


Artículo original


SISTEMA IoT BASADO EN ESP32 PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE CULTIVOS EN INVERNADERO CON ENFOQUE DE AGRICULTURA 4.0

ESP32-BASED IoT SYSTEM FOR CONTROLLING AND MONITORING GREENHOUSE CROPS WITH AN AGRICULTURE 4.0 APPROACH

SEBASTIAN BERRIOS GOMEZ¹

 <https://orcid.org/0000-0002-0123-3186>

HUGO JAVIER RIVERA HERRERA²

 <https://orcid.org/0000-0002-9896-5008>

Recibido: 23/05/2022

Aceptado: 19/06/2022

Publicado: 01/07/2022

¹Área de operaciones, proyecto OROCOM Sur, Tacna, Perú

²Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad Privada de Tacna, Perú

E-mail: ¹sebberrios99@gmail.com, ²hujrivera@upt.pe



Resumen

La agricultura 4.0 incorpora tecnologías de información y comunicación como el Internet de las Cosas (IoT), bases de datos y aplicativos de teléfonos inteligentes. El cultivo bajo invernaderos a su vez, permite el uso racional del recurso hídrico y obtener mayor producción en menores áreas de cultivo. El incremento de la productividad genera las condiciones propicias para asegurar la alimentación de poblaciones en un futuro cercano. La investigación presenta una propuesta de un sistema IoT para monitorear y controlar parámetros inherentes a los cultivos bajo invernadero basado en el microcontrolador ESP32, utiliza nodos sensores para recolectar mediciones de temperatura, humedad relativa, humedad del suelo, así como el nivel de agua para riego. Mediante el protocolo de comunicación inalámbrica ESP-NOW, los nodos sensores envían la información al nodo central. El nodo central activa y desactiva los actuadores para controlar los parámetros climáticos y registra la información en una base de datos para monitorearlos en tiempo real. La aplicación móvil muestra lecturas de la base de datos y permiten encender y apagar actuadores de forma manual. El sistema se desarrolló para el cultivo de lechugas en invernaderos tipo túnel, pero puede aplicarse a otro tipo de cultivos e invernaderos debido a su flexibilidad.

Palabras clave: Internet de las Cosas; invernadero; ESP32; protocolo ESP-NOW; sensor.

Abstract

Agriculture 4.0 incorporates information and communication technologies such as the Internet of Things (IoT), databases and smartphone applications. Greenhouse farming, at the same time, allows a rational use of water resources and a greater production in smaller cultivation areas. The increase in productivity generates the right conditions to ensure the nourishment of populations in the near future. The research presents a proposal for an IoT system to monitor and control parameters inherent to greenhouse crops based on the ESP32 microcontroller, using sensor nodes to collect data on temperature, relative humidity, soil moisture, as well as water level for irrigation. Using the ESP-NOW wireless communication protocol, the sensor nodes send the information to the central node. The central node activates and deactivates the actuators to control the climatic parameters and saves the information in a database for real-time monitoring. The mobile application displays readings from the database and allows actuators to be turned on and off manually. The system was developed for growing lettuce in tunnel greenhouses, but can be applied to other types of crops and greenhouses due to its flexibility.

Keywords: Internet of the things, greenhouse, ESP32, ESP-NOW Protocol, sensor.

1. Introducción

Los principales factores que limitan el incremento de la producción agrícola son la escasez de tierras y de agua (FAO, 2017). Es así que a futuro la productividad dependerá de la inversión en la mecanización de las actividades incluso en agricultura de pequeña escala. El uso de invernaderos permite minimizar el impacto de estos factores limitantes y mejorar su eficiencia a través de la digitalización de los datos. En este sentido, Trendov et al. (2019) indican que en las últimas décadas hubo un desarrollo acelerado de tecnologías digitales como resultado de la evolución exponencial de las capacidades computacionales y del desarrollo informático y electrónico, por lo que surge la agricultura digital, la agricultura inteligente o agricultura 4.0 incorporando estas tecnologías en sus procesos productivos como sensores, Internet de las Cosas, drones y computación en la nube. En ese sentido, los estudios consisten en correlacionar la producción con las condiciones ambientales y manipular las variables como luz, humedad y temperatura que inciden en el crecimiento, desarrollo y productividad (De Paula et al., 2017; Silva et al., 2020). La modelización y control del crecimiento de las plantas en invernaderos tienen como objetivo tener un control jerárquico de optimización multiobjetivo de alto nivel que maximice los beneficios, la calidad de los frutos y la eficiencia en el uso del agua (Costa et al., 2021).

A través del Internet de las Cosas (IoT), múltiples dispositivos pueden interconectarse entre sí de manera inteligente. Estos incluyen sensores, actuadores, software y plataformas de red que permiten la conectividad, su monitoreo y acceso a los datos que generan (Dorsemain, 2015). Por ello, Wu-Yeng et al. (2018) muestran que es posible usar Firebase, que es una combinación de servicios de Google en la nube que incluyen mensajería instantánea, autenticación de usuario, base de datos en tiempo real, almacenamiento entre otros, por su parte Le Troung et al (2021) aseveran que Firebase Realtime Database se integra con aplicaciones web y aplicaciones móviles, permitiendo además clasificar datos provenientes de sensores.

Estudios realizados por Maier et al. (2017) comparan entre diversos módulos que permiten desarrollar productos IoT, concluyendo que el Espressif System ESP32-DevKitC se adapta perfectamente a propósitos de investigación.

En esa línea, la investigación planeó una solución de Internet de las Cosas basada en ESP32-DevKitC para el monitoreo y control de cultivos de hortalizas en invernaderos. Además, se utilizó Firebase Realtime Database para almacenar los datos medidos en los sensores y se implementó una aplicación móvil mediante Android Studio enfocada como aporte tecnológico para la inserción de soluciones digitales en el ámbito agrícola.

2. Objetivo

Diseñar un sistema IoT basado en ESP32 para el monitoreo y control de temperatura, humedad del ambiente, humedad del suelo y nivel de agua de riego para el cultivo de lechugas en invernaderos.

3. Metodología

La metodología seguida es la propuesta por Pahl et al. (2007) y las fases de diseño son las siguientes:

Fase 1. Identificación de requerimientos

Se realizó un estudio de las características de los cultivos en invernaderos y las condiciones idóneas para su desarrollo. Se estableció las especificaciones técnicas del producto a desarrollar y sus restricciones. Según lo propuesto por Iglesias (2006), para el cultivo de hortalizas bajo cubierta; se debe monitorear el clima dentro del invernadero para tener buenos rendimientos, considerando la temperatura, humedad relativa y humedad del suelo. Así este tipo de cultivos deben poseer una fuente continua de agua para riego, siendo prioritario el uso de reservorios o tanques.

Para la evaluación del sistema, se eligió el cultivo de lechuga y su diseño obedece a los parámetros definidos por la Cámara de Comercio de Bogotá (2015) que indica que para el cultivo de esta hortaliza, el rango óptimo de temperatura en horario diurno oscila entre 15 °C a 20 °C, mientras que, en horario nocturno es entre 10 °C a 15 °C. La humedad relativa es independiente del horario y oscila entre 60 % y 70 %. La humedad del suelo debe oscilar entre 50 % y 75 %. Adicionalmente, el sistema controla el nivel de agua en el tanque a partir del cual se suministra el líquido.

Fase 2. Diseño conceptual

A partir de los parámetros del cultivo que deben ser monitoreados y controlados, se realizó una disgregación funcional en módulos que sirvieron para cumplir con la tarea de recolectar datos relevantes para el sistema. Es así que se dispuso con módulos sensores (nodos sensores) que captaban los niveles de temperatura, humedad del ambiente, humedad del suelo, nivel de líquido en un tanque de agua y un nodo central que recolectaba los datos para convertirlos en información en la nube.

En este contexto, se estudiaron soluciones posibles utilizando distintas tecnologías de Internet de las Cosas. Se eligió, con base en criterios técnicos y económicos, utilizar el ESP32-DevKitC así como sensores y actuadores de bajo costo disponibles en el mercado local, tales como el ESP32-DevKitC, que es una tarjeta de desarrollo basada en el ESP32 y producida por Espressif. El ESP-32 incorpora conexión WiFi y Bluetooth, utiliza un procesador Xtensa de doble núcleo de 32bits a 240MHz con una ROM de 448KB, una SRAM de 520KB y una memoria flash de hasta 16MB. Cuenta con 34 pines GPIO y 16 pines configurables como PWM por software (Espressif System, 2022).

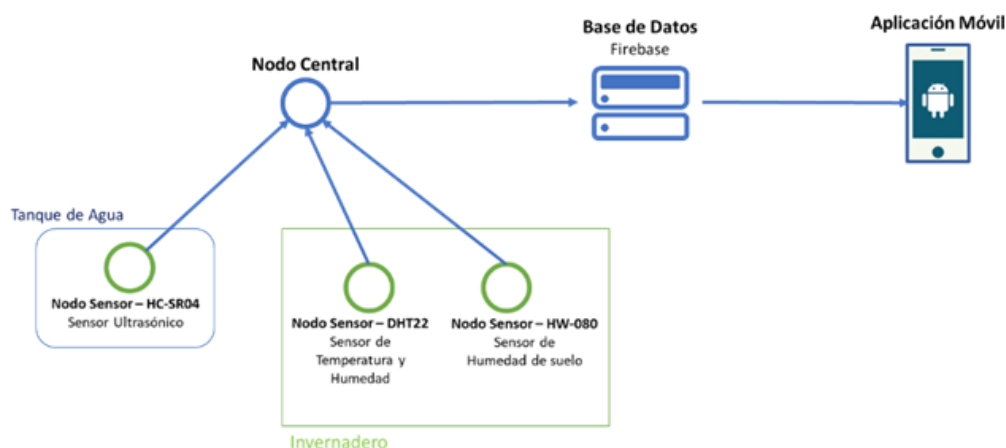
Para la comunicación entre nodos, se utilizó la tecnología inalámbrica ESP-NOW, el cual permite transmisión de tramas con hasta 250 bytes de datos (Espressif System, 2016).

Fase 3. Diseño de detalle

La solución elegida consiste en una red tipo estrella conformada por un nodo central y tres nodos sensores. También forman parte del sistema el Firebase Realtime Database, la aplicación móvil basada en Android Studio y los actuadores como se observa en la figura 1.

Figura 1

Diagrama descriptivo del sistema



Los nodos sensores recolectan la temperatura, la humedad del ambiente, la humedad de suelo y el nivel del tanque de agua para riego. Todos estos datos son enviados al nodo central, el cual se encarga de remitirlos a la base de datos y activar o desactivar actuadores de acuerdo a los rangos establecidos en las especificaciones técnicas. La aplicación móvil adquiere la información de la base de datos y la muestra en su interfaz, también permite encender o apagar los actuadores cuando el usuario lo crea conveniente. Para visualizar los datos y el control de los actuadores desde cualquier parte del mundo solo se requiere tener acceso a internet.

La Figura 2 muestra la disposición de los nodos (central y sensores) y de los actuadores en el invernadero.

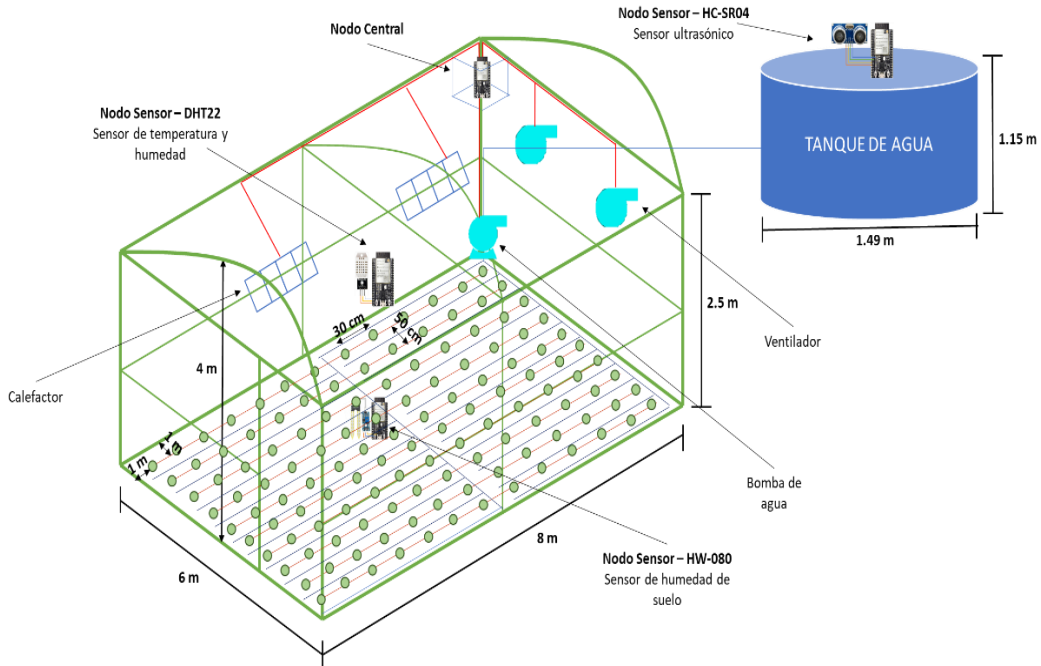
El invernadero tipo túnel tiene un tamaño de 4 m de alto, 6 m de ancho y 8 m de largo. El tanque de agua tiene un diámetro de 1,49 m y una altura de 1,15 m, con una capacidad máxima de 2 000 L de agua.

Todos los nodos están conformados por el módulo ESP32-DevKitC y su componente o componentes adicionales. Existe tres nodos sensores: el Nodo Sensor – DHT22 está compuesto por el sensor de temperatura y humedad y está ubicado a una altura media en el centro del invernadero, el Nodo Sensor – HW-080 con el sensor de humedad de suelo está situado en medio de las plantaciones y el Nodo Sensor – HC-SR04 está conformado por el sensor ultrasónico y se encuentra en la parte superior del tanque de agua. El nodo central se halla en una caja protectora en la parte superior de la esquina del invernadero; a este nodo van conectados los actuadores.

Por otro lado, los ventiladores están localizados en la parte posterior del invernadero,

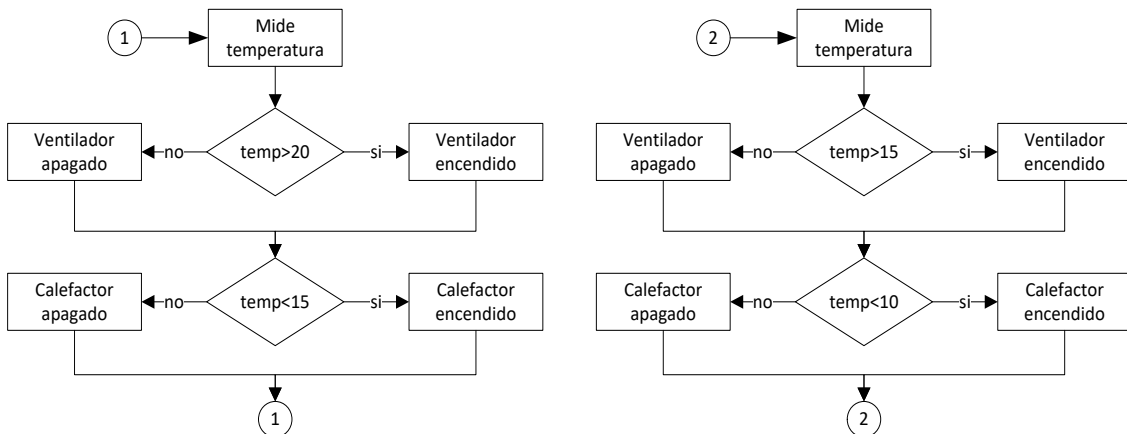
los calefactores en la parte superior del invernadero y la bomba de agua en la parte inferior de la esquina posterior del invernadero.

Figura 2
Distribución del sistema en el invernadero



Así mismo, para el control de la temperatura y humedad se cuenta con un sistema de ventilación y calefacción. En el día, si la temperatura se encuentra entre 15 °C y 20 °C, el ventilador y el calefactor permanecerán apagados. Si la temperatura es mayor que 20 °C, el ventilador se activa. Si la temperatura es menor a 15 °C, el calefactor se enciende. En la noche, si la temperatura se encuentra entre 10 °C y 15 °C, el ventilador y el calefactor permanecerán apagados. Si la temperatura es mayor que 15 °C, el ventilador se activa. Si la temperatura es menor a 10 °C, el calefactor se enciende. La figura 3 muestra el diagrama del sistema de control de temperatura.

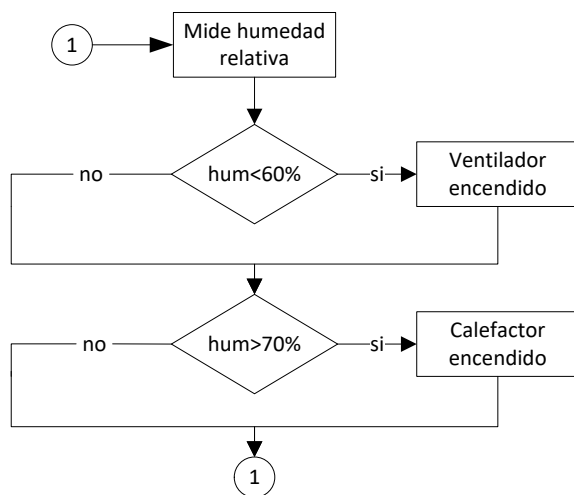
Figura 3
Diagramas del sistema de control de temperatura en horario diurno y nocturno



La figura 4 muestra el diagrama de control de la humedad relativa. En este caso, el ventilador se enciende si la humedad relativa es menor o igual a 60 % y se apaga cuando es mayor a 60 %. El calefactor se activa si la humedad relativa es mayor o igual a 70 % y se desactiva cuando es menor a 70 %.

Figura 4

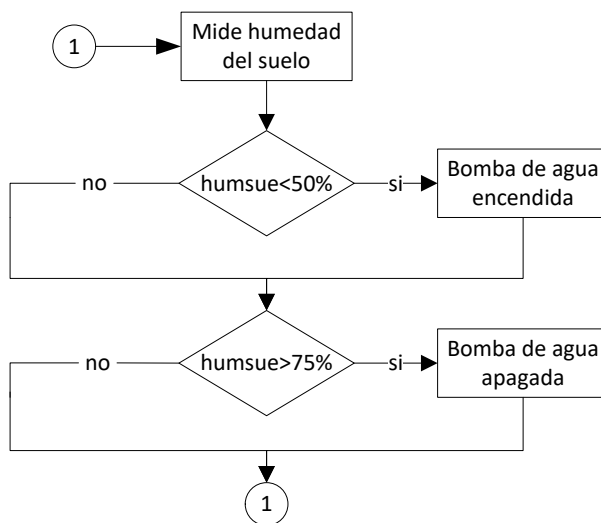
Diagrama del sistema de control de humedad relativa



Para el control de la humedad del suelo, el sistema activa la bomba de agua que permite el riego del cultivo si es menor o igual a 50 % y la desactiva cuando es mayor o igual a 75 % conforme se describe en la figura 5.

Figura 5

Diagrama del sistema de control de humedad del suelo



La programación y configuración del sistema IoT, se realizó mediante los IDE Arduino y Android Studio, así como la plataforma Firebase.

El IDE Arduino se utilizó para la programación del funcionamiento de todos los nodos, el IDE Android Studio para el desarrollo de una aplicación móvil. La plataforma Firebase proporcionó una base de datos en tiempo real que permitió que la información de la aplicación móvil sea sincronizada y almacenada en la nube.

Las etapas que se siguieron para la configuración y programación del sistema IoT fueron las siguientes:

- Creación de un proyecto Firebase
- Creación de un proyecto en Android Studio
- Enlace de los dos proyectos
- Configuración de la base de datos en Firebase
- Configuración de la interfaz de la aplicación móvil en Android Studio
- Programación del funcionamiento de los nodos en el Arduino IDE

4. Resultados

Se elaboraron módulos para realizar las conexiones eléctricas entre los sensores y las tarjetas ESP-DevKitC de la forma como se muestra en la figura 6.

Figura 6

Módulos de nodos sensores



Una vez configurada la red, se realizaron las pruebas de funcionamiento, comprobando que los parámetros establecidos para los cultivos permanecieran en los rangos de valores predeterminados. Las pruebas se asociaron a cultivo de lechugas, por lo que el sistema se programó para mantener un rango óptimo de temperatura de horario diurno entre 15 °C y 20 °C y de horario nocturno entre 10 °C y 15 °C, la humedad relativa entre 60 % y 70 % y la humedad del suelo entre 50 % y 75 %.

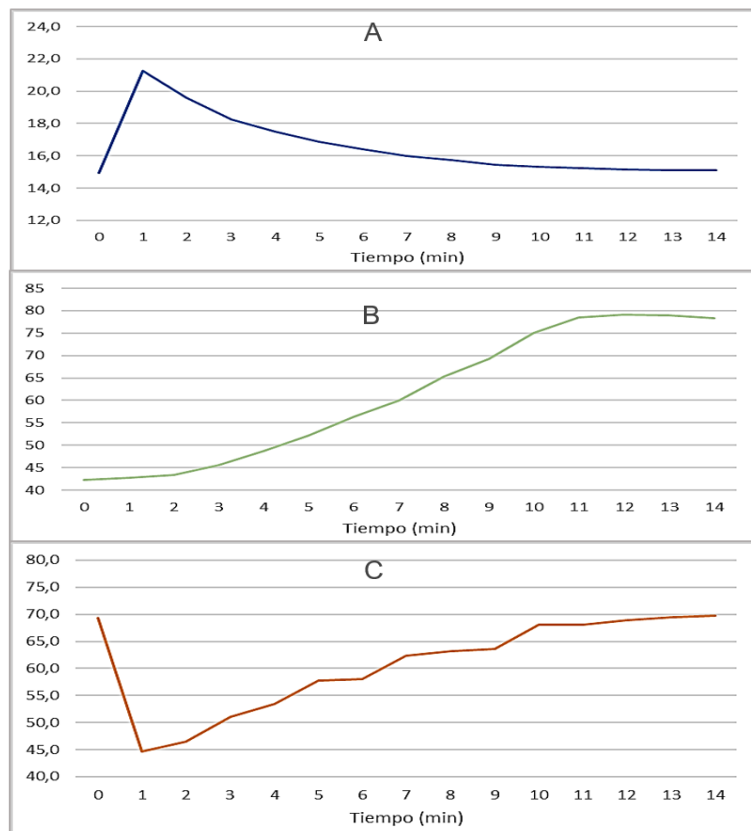
Se comprobó la operación continua del sistema IoT al tomar datos durante 24 h, de temperatura (con error nominal de $\pm 0,5$ °C), humedad relativa (con error nominal de ± 1 %) y humedad del suelo (la hoja de especificaciones técnicas del sensor no establece un error

nominal).

Para comprobar el funcionamiento en los rangos esperados se modificaron artificialmente las condiciones del medio al incrementar el valor de la temperatura (figura 7A) por encima de los 20 °C, el sistema corrigió según lo esperado, mientras al disminuir el valor la humedad relativa por debajo del 60 %, el sistema incrementó el valor (figura 7B), además el sistema se activó automáticamente humedeciendo el terreno, luego de llegar al límite máximo de 75 %, interrumpió el paso de agua (Figura 7C).

Figura 7

Respuesta del sistema ante variaciones de los parametros

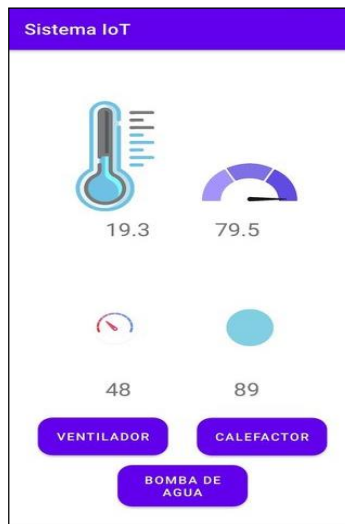


Nota. A = incremento de temperatura, B = disminución de humedad relativa; C = incremento de humedad del suelo.

El sistema diseñado permite visualizar los valores en la aplicación móvil tal como se puede observar en la figura 8.

El sistema opera según el diseño y acumulando información de los sensores, y activa los actuadores de acuerdo a los parámetros establecidos. Asimismo, la aplicación móvil reproduce con exactitud la información almacenada en la base de datos y permite activar actuadores de forma manual.

Figura 8

Interfaz de aplicación móvil

5. Discusión

Los resultados muestran que mediante un sistema IoT basado en el microcontrolador ESP32 y a través de una red inalámbrica de sensores bajo el protocolo ESP-NOW, se logra realizar el monitoreo y control de temperatura, humedad relativa, humedad del suelo y nivel de agua para riego, requerido para el cultivo en invernaderos. Además, el sistema permite enviar la información a una base de datos y mostrarla en tiempo real al usuario a través de una aplicación Android.

El sistema desarrollado es similar en cuanto a los resultados encontrados por Kumar et al. (2020) en una red cableada basada en el microcontrolador Arduino Uno, utilizando el sensor de temperatura y humedad relativa DHT11, el comparador LM293 para medir la humedad del suelo y un LDR para luminosidad concluyen que el sistema diseñado permite controlar satisfactoriamente los parámetros descritos. En el mismo sentido, Umarov et al. (2020) despliegan una red basada en Bluetooth para la comunicación inalámbrica entre los nodos sensores y el nodo central utilizando el microcontrolador ESP32. Con una configuración similar Akram y Challenger (2021), basada también en el microcontrolador ESP32 y comunicación inalámbrica Bluetooth, comprueban su funcionalidad. Este sistema añade la posibilidad de remitir mensajes al usuario con base en las mediciones efectuadas.

Por otro lado, frente a Bluetooth, el protocolo ESP-NOW demuestra tener un mayor alcance, conforme a las mediciones efectuadas hasta de 345 m, permitiendo que los nodos sensores puedan desplegarse a una mayor distancia del nodo central a fin de disminuir la cantidad de dispositivos instalados.

La investigación se limita al monitoreo y control de los parámetros estudiados, quedando como una futura línea de trabajo, la revisión de la exactitud de los datos medidos a través de procedimientos de calibración, considerando que el DHT22 establece una precisión de valores de temperatura y humedad de $\pm 0,5$ °C y ± 1 %, habiéndose reportado rangos

menores de temperatura por Ahmad et al. (2021) con una exactitud de $\pm 0,1$ °C y errores mayores de humedad relativa por Koestoer et al. (2019) que fluctúan entre 10 % y 19 % en climas tropicales.

Finalmente, también es importante establecer si los parámetros controlados mejoran la eficiencia del cultivo o la forma en que influyen en su productividad independiente del tipo de cultivo.

6. Conclusiones

En la actualidad, se están incorporando tecnologías modernas a la agricultura a fin de evitar el uso indiscriminado del recurso hídrico e incrementar la productividad en espacios reducidos denominado Agricultura 4.0. En esa línea, se presenta el diseño de un sistema de Internet de las Cosas (IoT) que permite el monitoreo y control de cultivos de hortalizas en invernaderos tradicionales. Para tal fin, se utiliza la tarjeta de aplicación ESP32 Dev-Kit-C y los sensores DHT22, HW-080 y HC-SR04. A través de una red inalámbrica tipo estrella, los nodos sensores recogen información de temperatura, humedad relativa del ambiente, humedad del suelo y nivel de líquido, y la envían a un nodo central utilizando el protocolo de comunicación ESP-NOW, el cual registra la información en una base de datos mediante una aplicación móvil incorporada que permite monitorear en tiempo real y accionar actuadores de forma manual.

7. Referencias Bibliográficas

- Cámara de Comercio de Bogotá (2015). Manual Lechuga. <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/14316>
- Costa, E., Martins, MB, Vendruscolo, EP, Silva, AGD, Zoz, T., Binotti, FFDS, ... & Seron, CDC (2021). Invernaderos dentro de la interfaz Agricultura 4.0. Revista Ciencia Agronómica, 51. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200089>
- De Paula, R. D. C. M., da Silva, A. G., Costa, E., & da Silva Binotti, F. F. (2017). Monitoramento de variáveis micrometeorológicas em diferentes ambientes protegidos no período de inverno. Revista de agricultura neotropical, 4(5), 103-109. DOI: <http://doi.org/10.32404/rean.v4i5.2210>
- Dorsemaine, B., Gaulier, J., Wary, J. y Kheir, N (2015). Internet of Things: a definition & taxonomy. <https://www.researchgate.net/publication/282218657> Internet of Things A Definition on Taxonomy
- Espressif Systems (2022). ESP32 Series. Datasheet v.3.8. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- Espressif Systems (2016). ESP-NOW User Guide v.1.0 https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp-now_user_guide_en.pdf
- FAO (2020). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Roma <https://www.fao.org/3/cb1447es/cb1447es.pdf>

