



Monitoreo IOT utilizando una red de sensores inalámbricos para el cultivo de cacao

IoT monitoring using a wireless sensor network for cocoa cultivation

Monitorização IOT usando rede de sensores sem fios para o cultivo de cacau

Jorge Washington Hidalgo-Larrea ^I
jhidalgo@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9226-4171>

Mitchell Jhon Vásquez-Bermúdez ^{II}
mvasquez@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8157-8549>

Lorena Carola Bravo-Balarezo ^{III}
lorena.bravob@ug.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7080-2354>

Jessica Malena Yépez-Holguín ^{IV}
jessica.yepzh@ug.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6810-5576>

Correspondencia: jhidalgo@uagraria.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 22 de septiembre de 2024 * **Aceptado:** 11 de octubre de 2024 * **Publicado:** 18 de noviembre de 2024

- I. Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.
- II. Universidad Agraria del Ecuador, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- III. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- IV. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

Resumen

Este artículo tiene como objetivo proteger la salud y el desarrollo de las plantas de cacao utilizando tecnología de bajo costo basada en arquitectura IoT y redes de sensores inalámbricos remotos que permitan a los agricultores controlar los factores climáticos que impactan directamente en el cultivo del cacao. Es una arquitectura integral en el campo de la tecnología agrícola, a través de la recolección de información generada por las variables agrícolas, para gestionar correctamente los recursos ambientales, mantener el control de calidad del producto, prevenir y proteger al cacao de diversos daños. Para satisfacer las necesidades del proyecto, se introdujo tecnología de código abierto para ahorrar en costos de implementación y también se introdujeron innovaciones como el protocolo de acceso remoto LoRaWAN para conectividad inalámbrica.

Palabras clave: Red de sensores; Parámetros ambientales; IoT; Agricultura.

Abstract

This article aims to protect the health and development of cocoa plants using low-cost technology based on IoT architecture and remote wireless sensor networks that allow farmers to monitor climatic factors that directly impact cocoa cultivation. It is a comprehensive architecture in the field of agricultural technology, through the collection of information generated by agricultural variables, to properly manage environmental resources, maintain product quality control, prevent and protect cocoa from various damages. To meet the needs of the project, open source technology was introduced to save on implementation costs and innovations such as the LoRaWAN remote access protocol for wireless connectivity were also introduced.

Keywords: Sensor network; Environmental parameters; IoT; Agriculture.

Resumo

Este artigo tem como objetivo proteger a saúde e o desenvolvimento das plantas de cacau utilizando tecnologia de baixo custo baseada na arquitetura IoT e redes de sensores remotos sem fios que permitem aos agricultores controlar os fatores climáticos que impactam diretamente o cultivo do cacau. É uma arquitetura abrangente no âmbito da tecnologia agrícola, através da recolha de informação gerada pelas variáveis agrícolas, para gerir corretamente os recursos ambientais, manter o controlo de qualidade do produto, prevenir e proteger o cacau de diversos danos. Para satisfazer as necessidades do projeto, foi introduzida tecnologia de código aberto para poupar nos

custos de implementação e foram também introduzidas inovações como o protocolo de acesso remoto LoRaWAN para conectividade sem fios.

Palavras-chave: Rede de sensores; Parâmetros ambientais; IoT; Agricultura.

Introducción

El rápido crecimiento de la población, que se espera supere los nueve mil millones de personas en 2050, afectará drásticamente tanto a la demanda como a la producción de alimentos. La oferta sigue por detrás de la demanda, lo que agrava los problemas ecológicos que repercuten negativamente en la productividad de la agricultura tradicional (Benyezza et al. 2023). Aumentar la producción de alimentos y crear las mejores condiciones de cultivo son los mayores retos a los que se enfrentan políticos y científicos para satisfacer las necesidades alimentarias mundiales previstas.

La agricultura inteligente utiliza tecnologías modernas de detección, computación y comunicación, como Internet de las Cosas (IoT), en las prácticas agrícolas actuales. Los beneficios de la agricultura inteligente incluyen el aumento de la productividad y la calidad de los cultivos, la gestión eficiente y el control de los sistemas agrícolas (Sharma et al. 2019).

Uno de los factores más importantes que favorecen el desarrollo del sistema agrícola es la calidad del suelo utilizado como sustrato para el crecimiento de las plantas. La calidad del suelo es un suelo fértil capaz de producir cultivos fértiles. Las condiciones del suelo están influenciadas por diversos factores ambientales como la temperatura, la humedad, la luz y el pH del suelo (Fahmi et al. 2017). En este trabajo, se desarrolló un prototipo simple de un sistema de monitoreo de precisión agrícola utilizando módulos de sensores inalámbricos.

A lo largo de la historia, en el sector agrícola se han llevado a cabo investigaciones y desarrollos tecnológicos para mejorar la producción y los procesos. Tecnologías actuales como el IoT (Internet de las Cosas) permiten la disponibilidad continua de información a través de Internet, aportando soluciones oportunas a todas las incidencias. Las redes inalámbricas de sensores (WSN) son la base del Internet de las Cosas (IoT), que en conjunto crean una ciudad inteligente.

El uso de redes de sensores inalámbricos (WSN) se ha convertido en una tendencia cada vez más popular para diversos casos de uso relacionados con la recopilación automática de datos. Esto ha sido posible gracias a una serie de avances técnicos y comerciales que han permitido diseñar y desarrollar nuevas WSN a un coste relativamente bajo si el equipo de diseño cuenta con los conocimientos y la experiencia necesarios (Ilchev 2023).

Estas WSN constan de múltiples sensores densamente distribuidos para controlar condiciones físicas o ambientales como la humedad, la temperatura, la intensidad de la luz y la concentración de gases. Las lecturas de los sensores se envían al coordinador de la red, una pasarela IP situada en el corazón de la red inalámbrica (Ouni y Saleem 2022). La introducción del paradigma del Internet de las Cosas (IoT) permite que los entornos de almacenamiento interactúen con el producto a través de sensores y conexiones inalámbricas (Carteri et al. 2022).

Además, la red de sensores inalámbricos (WSN) es una tecnología clave importante en el desarrollo de Internet de las cosas (Lin y Cheung 2020). Hapsari et al (2019) realizaron pruebas de rendimiento y fiabilidad en tres nodos sensores, que mostraron valores fiables. El proceso de recuperación de datos se vuelve más eficiente y rápido cuando se utiliza MQTT como protocolo de comunicación.

Zhou et al (2022) utilizaron sensores inteligentes para controlar parámetros ambientales clave en un campus universitario. Utilizando la tecnología de Internet de las Cosas, desarrollaron un prototipo de SPI que captura las condiciones ambientales a lo largo del tiempo. Su trabajo tenía como objetivo proporcionar una plataforma de monitorización habilitada para SPI y sensores inteligentes que recogen, comparten, analizan y visualizan datos medioambientales.

Por último, los autores Wahid et al. (2023) construyeron un prototipo que se probó en dos habitaciones con el objetivo de aplicar un método de red de sensores inalámbricos (WSN) para adquirir y transmitir datos de cada habitación. información al sitio web. Las pruebas midieron la comparación de los sensores de temperatura y humedad con dispositivos de medición manuales. Los resultados de este estudio muestran un error absoluto medio del 0,606% para los datos de temperatura y un error absoluto medio del 0,627% para los datos de humedad. Esto demuestra que el sistema en su conjunto es bueno y sensible.

Este estudio busca implementar la agricultura inteligente basada en redes de sensores inalámbricos (WSN) y ESP8266 al cultivo de setas. Se utilizan sensores de temperatura y humedad como sensores y NodeMCU ESP8266 como microcontrolador para utilizar el concepto de Internet de las Cosas (IoT).

Cabe destacar que todos los elementos esenciales, aplicaciones y softwares utilizados en este proyecto son productos de código abierto. Esta característica no solo aumenta la transparencia y la accesibilidad, sino que también elimina la necesidad de obtener licencias para su uso, por lo que este enfoque de código abierto no solo ayuda a reducir costes, sino que también hace hincapié en

la independencia y la correspondiente flexibilidad a la hora de gestionar el sistema y adaptarlo a sus necesidades de las futuras actualizaciones.

Metodología

Se llevó a cabo un proyecto en la finca Elizabeth ubicada en el cantón Naranjal la cual permitió desarrollar prototipos, para obtener un mejor cultivo de cacao en la hacienda, se tomó en cuenta cada una de las necesidades de las personas de la región que consumen este cultivo, para poder obtener resultados en un tiempo apropiado y garantizar una mejor solución mediante los prototipos utilizados.

Para el desarrollo del sistema se realizaron varias fases en donde cada una de ellas permitió el obtener un prototipo, el cual ayuda a tener un mejor cultivo con una visión general para poder tener una solución a controlar y permitir mejorar cada uno de los monitoreos para el cultivo de cacao. En la siguiente figura 1 se muestra la arquitectura del sistema de sensores del cultivo de Cacao.

Figura 1: Arquitectura de Sistema de Sensores



Los nodos El prototipo de WSN para poder controlar y mejorar los monitoreos para el cultivo de cacao incluyen:

Sensores: Se utilizaron sensores de humedad y temperatura DHT11 y sensor de luminosidad LDR LM393.

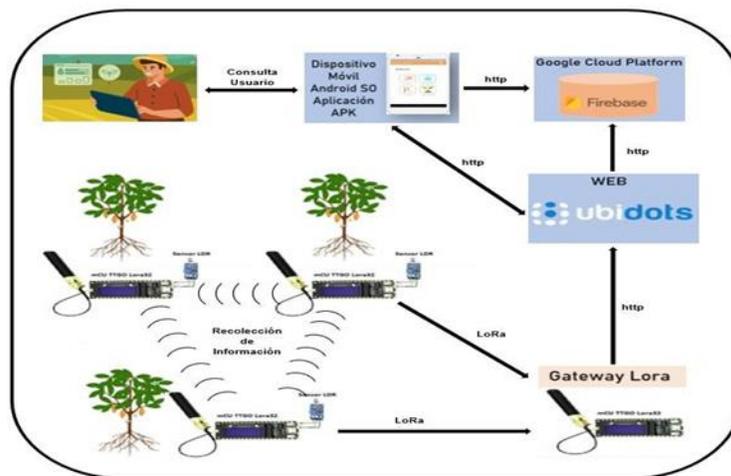
Conexión: Se estableció conexión por medio de Wi-Fi y Bluetooth, para poder ejecutar varias aplicaciones.

Análisis y procesado: Se utilizaron tarjetas como el EP32, el cual, permitió programar para poder cumplir con la necesidad de los usuarios de la finca con el prototipo.

Interfaz y Aplicación de usuario: Permitted desarrollar mediante el hardware de un chip integrado inalámbrica Lora, diseños impresos en 3D y el uso de softwares como Ubidots, Marvelapp, Android Studio y Illustrator de aplicativo móvil, y se guardaron todos los datos en un Firebase.

El sistema IoT realiza las acciones programadas para el funcionamiento de la red de sensores inalámbricos del cultivo de cacao. Se diseñó con los siguientes componentes que permitieron monitorizar el sistema para mejorar el rendimiento de la producción como se puede observar en la figura 2.

Figura 2: Componentes del Sistema de sensores



- **Usuario:** Persona que se encarga de ingresar cada uno de los datos del cultivo para el prototipo WSN que se desarrolla en el dispositivo móvil Android SO aplicación APK.
- **Firestore:** Guarda cada uno de los datos que se han ingresado en la aplicación de todos los cálculos hechos y de cada uno de los insumos necesarios para poder cuidar el cultivo.
- **Ubidots:** Va a lograr obtener información de los Gateway donde va a poder tener información de varios nodos.
- **Gateway Lora:** Permite que varios dispositivos puedan conectarse por medio de WI-fi y bluetooth.

El sensor permitió monitorear el prototipo WSN de los parámetros ambientales para el cultivo de cacao:

- Sensor de humedad y temperatura DHT11 permitió obtener la temperatura y la humedad para tener un rango de temperatura adecuado para el cultivo.
- Sensor de luminosidad LDR LM393 es un dispositivo que permite captar la luz.

La red de sensores permite la flexibilidad de poder tener acceso a entornos difíciles con ayuda de la IOT, con las bases de datos y con alta gama de chips de los microcontroladores, la cual, permite la conectividad por medio de internet para poder guardar la información.

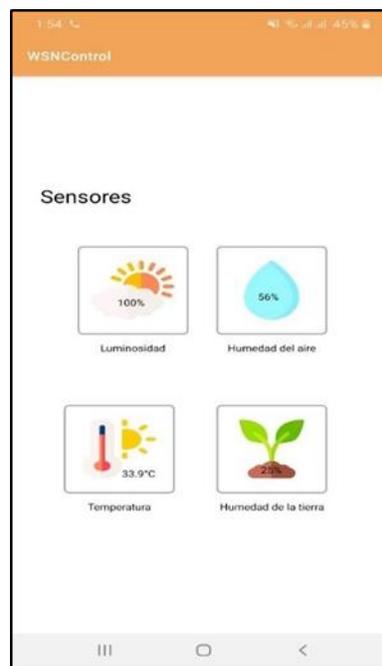
En la siguiente tabla 1, se mencionan las funciones más importantes de los dispositivos.

Tabla 1: Dispositivos IoT para los parámetros ambientales.

DISPOSITIVO	FUNCIÓN
MICROCONTROLADOR ESP32	Permite la integración de un sensor táctil capacitivo, interfaz de tarjeta SD, sensor Hall, sensor de bajo ruido, interfaz Ethernet, etc. Es un sistema en chip, su fabricante es la compañía china Espressif Systems, tiene un procesador Tensilica Xtensa de doble núcleo de 32bits a 160Mhz hasta 240Mhz.
MÓDULO TTGO LORA 32	Es un microcontrolador basado en el modelo de tarjeta ESP32 y cuenta con protocolos de conectividad Bluetooth, y wifi transceptor de Semtech SX1276 integrado en la placa.
SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DHT11	Es un periférico económico. Es capaz de medir la humedad relativa entre el 20 y el 90% RH dentro del rango de temperatura de funcionamiento de 0 a 50°C con una precisión de ±5% RH.
SENSOR DE LUMINOSIDAD LDR LM393	Está asociado con el pin de salida analógica y el pin de salida digital. Cuando hay luz, la resistencia de la LDR se vuelve baja según la intensidad de la luz. Cuanto más grande sea la magnitud de la luz, menor va a ser la resistencia de la LDR.

Una vez ensamblado todo el prototipo, se probó en plantas de cacao. Primero, se verifica si los nodos o sensores recopilan, procesan y envían información a la puerta de enlace receptor, y si los datos se muestran a través de la aplicación web Ubidots desarrollada para el prototipo y una aplicación móvil llamada WSN Control como se puede observar en la figura 3. Para determinar el alcance del prototipo se realizaron pruebas a distancia con resultados exitosos en un radio de 200 metros. No se han realizado más pruebas remotas ya que la superficie de la finca a realizar es de 10.000 metros cuadrados.

Figura 3: Monitoreo del Sistema de sensores



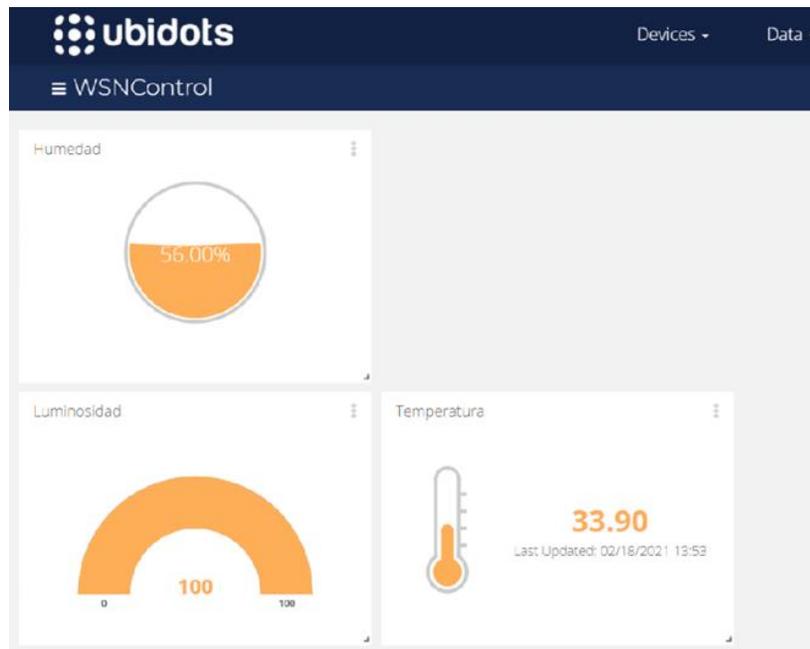
Evaluar el sistema IoT mediante una aplicación móvil diseñada para monitorizar la temperatura, la humedad y el nivel de luminosidad es una forma cómoda y eficaz de recopilar datos y supervisar el sistema. La aplicación tiene una interfaz fácil de usar con iconos bien definidos y funcionalidades claras.

Resultados

La supervisión de un sistema IoT mediante una aplicación móvil es una forma sencilla y efectiva de recopilar datos y monitorear el sistema. La aplicación tiene una interfaz intuitiva con iconos claros y funciones bien definidas como se puede observar en la figura 4.

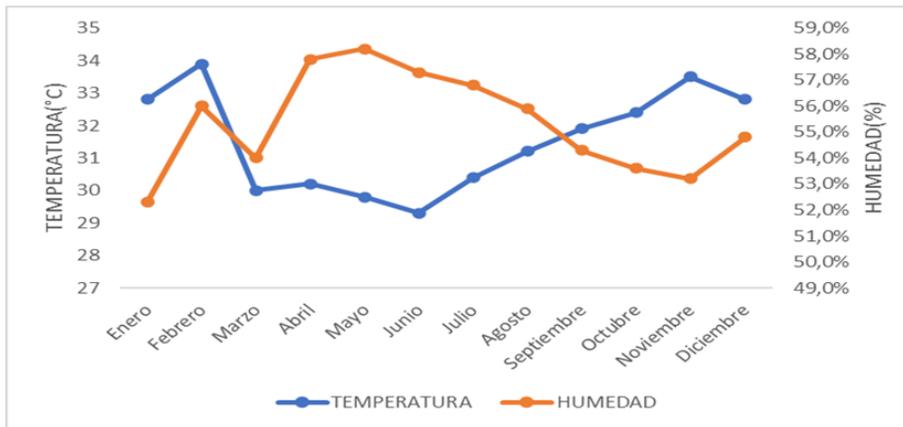
Los resultados obtenidos de las pruebas confirmaron la buena funcionalidad y autonomía del prototipo. Por tal motivo se realizó la implementación de un prototipo de WSN que permite la medición y monitoreo de parámetros ambientales de los cultivos de cacao, logrando exitosamente las metas planteadas en este proyecto.

Figura 4: Datos recopilados del sistema de monitoreo



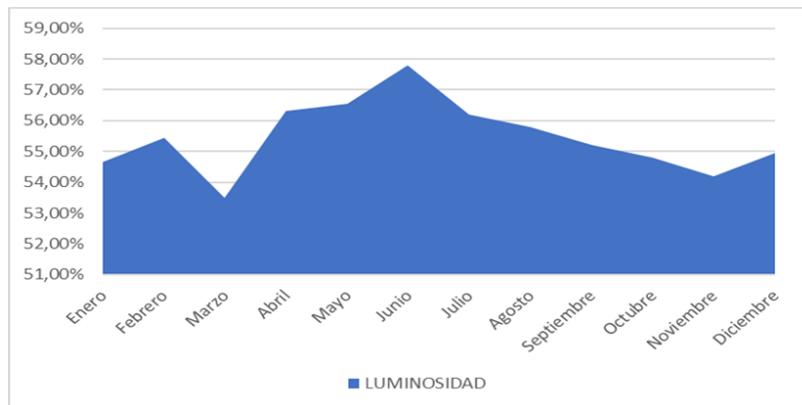
Los agricultores especificaron que el prototipo tiene propiedades eficientes y ofrece una solución para controlar mejor los parámetros ambientales de los cultivos y aumentar la productividad. El reporte de los promedios mensuales de los diferentes nodos que conforman la red de monitoreo cuyos datos se encuentran registrados en FireBase se muestran a continuación como se puede observar en la figura 5 para el promedio mensual de temperatura y humedad del sensor 1.

Figura 5: Promedios mensuales de temperatura(°C) y humedad (%) del nodo-sensor 1



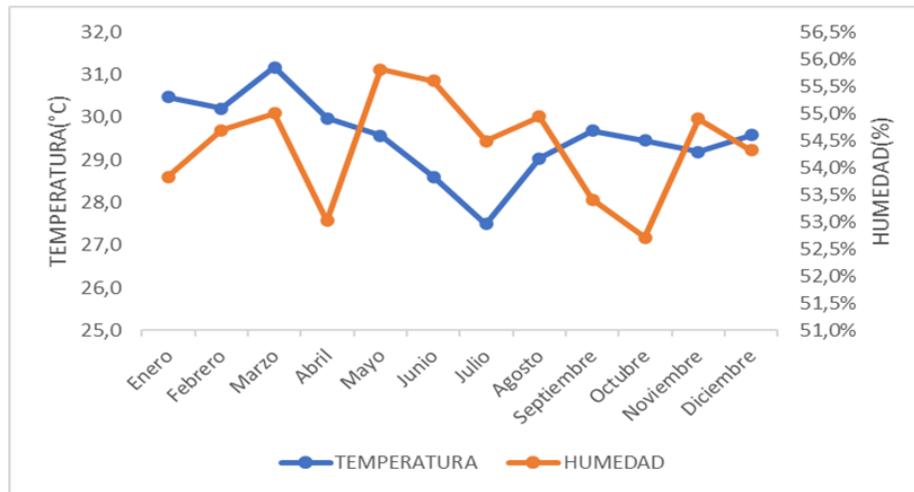
En la figura 6 se puede observar los promedios mensuales de nivel de luminosidad del sensor 1, en donde se puede determinar que el mes de junio existe el mayor índice de luminosidad con un porcentaje del 57,8%, mientras que el mes con menos nivel es marzo con un porcentaje del 53,48% de luminosidad.

Figura 6: Promedios mensuales de Luminosidad (%) del nodo-sensor 1



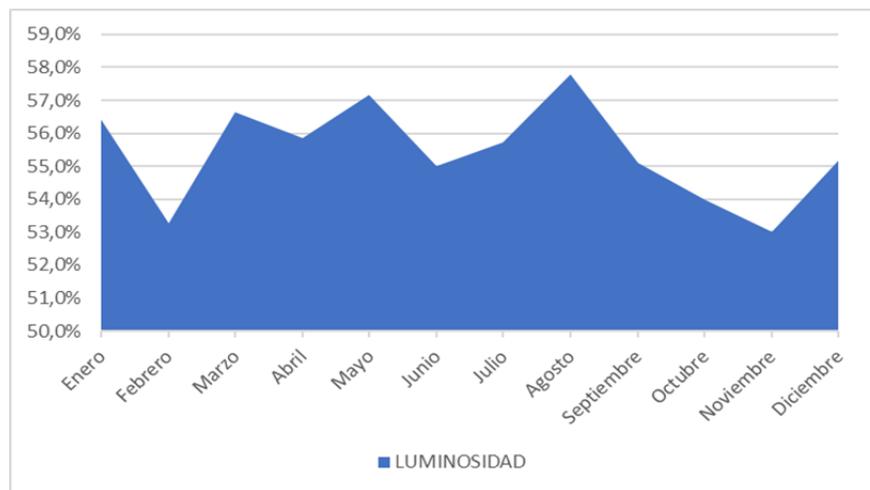
En la figura 7 se puede observar los promedios mensuales de temperatura y humedad del sensor 2, en donde se puede determinar que el mes de marzo tiene el nivel de temperatura más alto con un total de 31,2°C, mientras que el mes con menos nivel es julio con un total 27,5°C. Para la humedad se puede observar que el mes de mayo existe el mayor nivel de humedad con un porcentaje del 55,8%, mientras que el mes con menos nivel es octubre con un porcentaje del 52,7% de humedad.

Figura 7: Promedios mensuales de temperatura(°C) y humedad (%) del nodo-sensor 2



En la figura 8 se puede observar los promedios mensuales de nivel de luminosidad del sensor 2, en donde se puede determinar que el mes de agosto existe el mayor índice de luminosidad con un porcentaje del 57,8%, mientras que el mes con menos nivel es noviembre con un porcentaje del 53% de luminosidad.

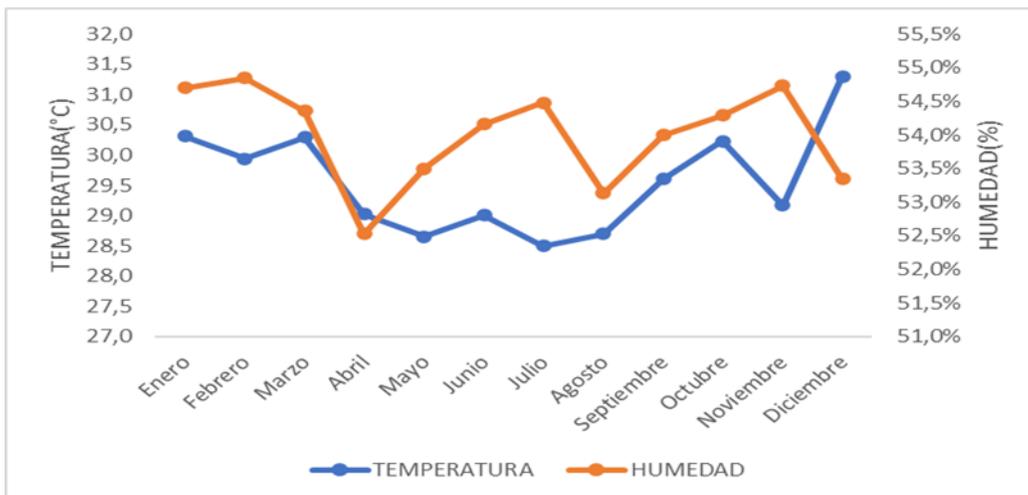
Figura 8: Promedios mensuales de Luminosidad (%) del nodo-sensor 2



En la figura 9 se puede observar los promedios mensuales de temperatura y humedad del sensor 3, en donde se puede determinar que el mes de diciembre tiene el nivel de temperatura más alto con un total de 31,3°C, mientras que el mes con menos nivel es julio con un total 28,5°C. Para la

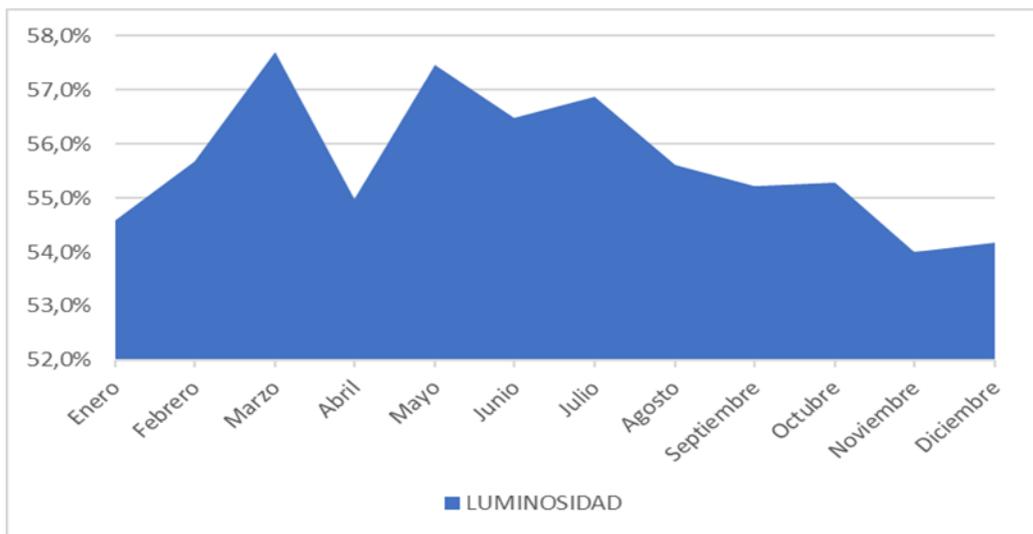
humedad se puede observar que el mes de febrero existe el mayor nivel de humedad con un porcentaje del 54,9%, mientras que el mes con menos nivel es abril con un porcentaje del 52,5% de humedad.

Figura 9: Promedios mensuales de temperatura(°C) y humedad (%) del nodo-sensor 3



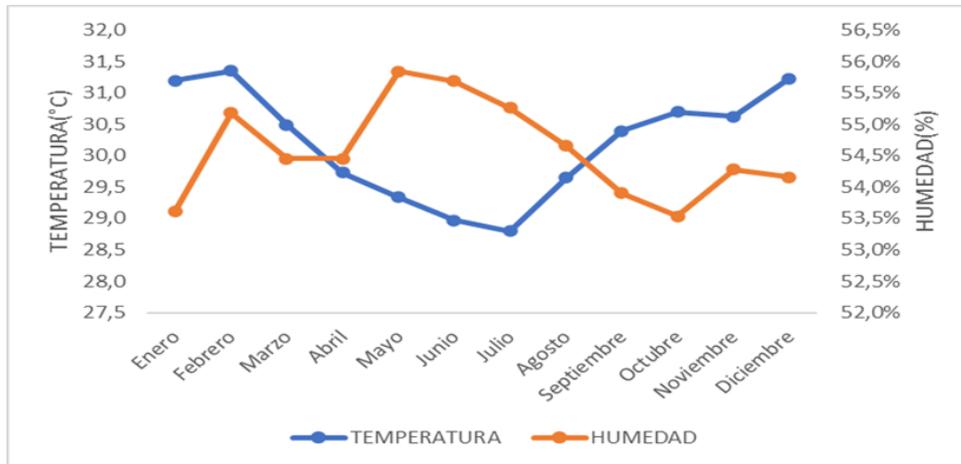
En la figura 10 se puede observar los promedios mensuales de nivel de luminosidad del sensor 3, en donde se puede determinar que el mes de marzo existe el mayor índice de luminosidad con un porcentaje del 57,7%, mientras que el mes con menos nivel es noviembre con un porcentaje del 54% de luminosidad.

Figura 10: Promedios mensuales de Luminosidad (%) del nodo-sensor 3



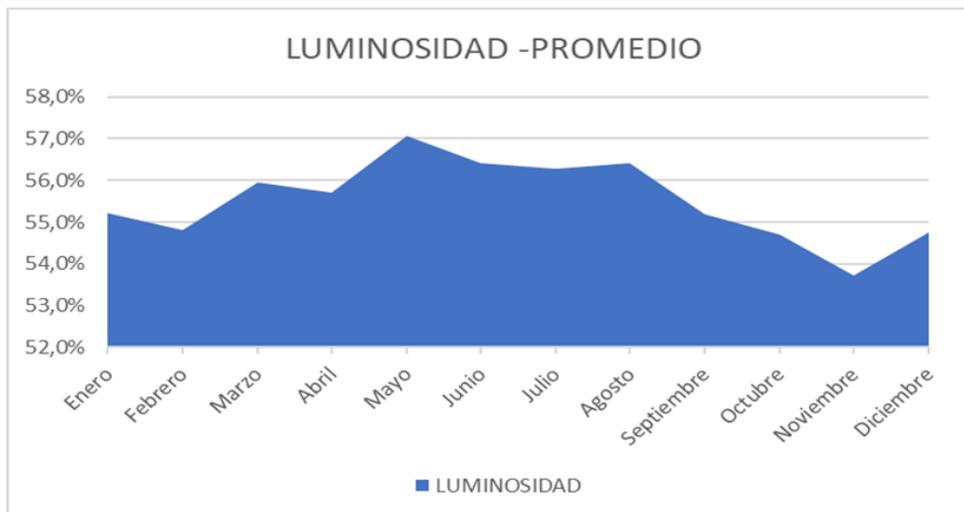
A continuación, se muestra en la figura 11 los datos promediados de los tres sensores de la red de monitoreo con el fin de consolidar la información correspondiente a los valores promedio de temperatura/mes y humedad relativa/mes de la finca, en los cuales se puede observar cómo cambian los niveles de temperatura y humedad relativa a lo largo del año, generando evidencia de la gran variedad de condiciones climáticas que se pueden presentar durante los procesos de cultivo.

Figura 11: Promedio mensual general de temperatura(°C) y humedad (%) de la red de sensores



En la figura 12 se puede observar los datos promediados de los tres sensores con la información correspondiente a los valores del nivel de luminosidad de la finca.

Figura 12: Promedio mensual general de Luminosidad (%) de la red de sensores



Acorde con los resultados obtenidos en la siguiente tabla 2 se muestra el promedio general de los datos recopilados de temperatura, humedad y luminosidad del sistema de sensores.

Tabla 2: Promedio general por mes del año 2021, del sistema de sensores en el cultivo de cacao de la finca Elizabeth.

MES	TEMPERATURA	HUMEDAD	LUMINOSIDAD
Enero	31,2 ± 1	53,6% ± 2	55,2% ± 1
Febrero	31,4 ± 1	55,2% ± 2	54,8% ± 1
Marzo	30,5 ± 1	54,5% ± 2	55,9% ± 1
Abril	29,7 ± 1	54,5% ± 2	55,7% ± 1
Mayo	29,3 ± 1	55,8% ± 2	57,1% ± 1
Junio	29,0 ± 1	55,7% ± 2	56,4% ± 1
Julio	28,8 ± 1	55,3% ± 2	56,3% ± 1
Agosto	29,6 ± 1	54,7% ± 2	56,4% ± 1
Septiembre	30,4 ± 1	53,9% ± 2	55,2% ± 1
Octubre	30,7 ± 1	53,5% ± 2	54,7% ± 1
Noviembre	30,6 ± 1	54,3% ± 2	53,7% ± 1
Diciembre	31,2 ± 1	54,2% ± 2	54,8% ± 1

La tabla 2 muestra los resultados de pruebas realizadas en un sistema de monitorización agrícola. La recopilación de datos se centró en tres aspectos diferentes: la temperatura, la humedad, el nivel de luminosidad. Por ejemplo, en la temperatura el promedio general de la red de sensores fue de 31,2°C con un nivel de variabilidad ± 1 . Este valor indica una temperatura alta, lo que puede ser perjudicial para el crecimiento de cacao.

La red de sensores inalámbricos (WSN) es capaz de detectar eventos y enviar datos específicos al administrador de la red a través de Internet. Para ello, los sensores leen los datos, los procesan y los transmiten mediante LoraWan. La pasarela IP recibe los datos y los envía automáticamente a Internet.

Una vez cargado el código en la plataforma, es el momento de tomar las lecturas de los sensores para comprobar su funcionamiento. En este caso, se utilizan dos sensores: el sensor DHT para medir la temperatura y la humedad, y el sensor LDR para medir la intensidad de la luz. La humedad se expresa en porcentaje, donde el 100% indica la saturación.

La tabla 2 también registra cómo el sistema de monitorización identifica valores anormales, lo que permite tomar medidas para corregir el problema y garantizar que la plantación de cacao tenga un crecimiento eficiente.

Discusión

Las investigaciones y estudios realizados han permitido definir el uso en agricultura de tecnologías similares con diferentes funciones en diferentes áreas de la agricultura. Se han analizado los parámetros ambientales que tienen mayor impacto en el cultivo del cacao, mostrando la importancia de las innovaciones tecnológicas.

Los resultados muestran que mediante un sistema IoT basado en la red de sensores inalámbricos (WSN) y conexión LoraWan, de esta forma se puede realizar la monitorización y control de la temperatura, humedad relativa, y nivel de luminosidad requerido para el cultivo. Además, el sistema permite guardar información en una base de datos y mostrarla en tiempo real al usuario a través de una aplicación móvil.

El sistema desarrollado presenta similitudes con los resultados obtenidos por Berrios et al. (2022) utiliza control y monitoreo de cultivos en invernadero. Utiliza el microcontrolador ESP32, utiliza nodos sensores para recolectar mediciones de temperatura, humedad relativa, humedad del suelo, así como el nivel de agua para riego y una LDR para medir la luminosidad. Los autores concluyen que el sistema diseñado logra gestionar de manera efectiva los parámetros mencionados.

En una línea similar, Mora et al. (2019) implementan una red de sensores (WSN) para la comunicación inalámbrica entre los nodos sensores y el nodo central, utilizando el MCU ESP8266 en su módulo ESP-12E aplicando el IoT. Santana et al. (2020), con una configuración similar basada en la arquitectura de software de una WSN y Bluetooth para el monitoreo de variables ambientales en casas de cultivos y un sistema operativo para los motes Zolertia Z1, también se empleó Contiki, de código abierto y especialmente diseñado para microcontroladores de bajo consumo y baja potencia, también evalúan su funcionalidad, incorporando la capacidad de enviar mensajes al usuario según las mediciones realizadas.

Por otro lado, en comparación con medios de conexión como el Bluetooth, el protocolo LoraWan tiene un mayor alcance, según las mediciones realizadas, de la hectárea del terreno, lo que permite desplegar los nodos sensores a mayor distancia del nodo central para reducir el número de dispositivos instalados.

La investigación se limita a la monitorización y control de los parámetros estudiados, dejando como futura línea de trabajo, la revisión de la precisión de los datos medidos mediante procedimientos de calibración, considerando que los sensores establecen una precisión de los valores de temperatura y humedad de ± 1 °C y ± 2 %, habiéndose reportado rangos menores de temperatura por Belupú (2022) con una precisión de $\pm 0,5$ °C y mayores errores de humedad relativa por Gómez et al. (2017) que oscilan entre el 4 % y el 6% en climas cálidos. Por último, también es importante establecer que los parámetros monitorizados mejoran la eficiencia del cultivo y que influyen en la productividad independientemente del tipo de cultivo.

Conclusiones

El sistema propuesto en este artículo ha demostrado ser eficaz, es importante mencionar que hay que tener en cuenta el cultivo específico. Deben tenerse en cuenta las características de cada cultivo y adaptar el sistema en consecuencia. Por ejemplo, el valor de la humedad y el contenido en nutrientes, por lo cual, es necesario adaptar los sensores y la tecnología de monitorización.

Se desarrolló una plataforma basada en el Internet de las cosas (IoT) que sea efectiva en diversos tipos de cultivos protegidos. La información recabada por este sistema facilita la toma oportuna de decisiones, contribuyendo así al mantenimiento del crecimiento y desarrollo de los cultivos de acuerdo con las metas de producción establecidas.

Se lograron determinar los valores de temperatura y humedad utilizando dos prototipos de sensores de bajo costo. Para futuras investigaciones, se propone determinar sensores parametrizados con patrones adecuados, así como la vida útil de los sensores para garantizar la precisión de las mediciones.

El bajo consumo de energía y el uso mínimo de ancho de banda del protocolo WSN hacen que este sistema sea viable, ya que permite un bajo coste que lo hace accesible especialmente para zonas rurales o remotas.

En conclusión, el sistema de control propuesto en este artículo es una herramienta valiosa para el monitoreo del cultivo de cacao. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la aplicación eficaz de este sistema requiere un conocimiento profundo de las características de cada cultivo.

Referencias

1. A. Hapsari, A. I. Hajamydeen, D. J. Vresdian, M. Manfaluthy, L. Prameswono and E. Yusuf, "Real Time Indoor Air Quality Monitoring System Based on IoT using MQTT and Wireless Sensor Network," 2019 IEEE 6th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS), Kuala Lumpur, Malaysia, 2019, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICETAS48360.2019.9117518.
2. Berrios Gomez, S., & Rivera Herrera, H. J. (2022). Sistema IoT basado en ESP32 para el control y monitoreo de cultivos en invernadero con enfoque de agricultura 4.0. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 4. <https://doi.org/10.47796/ing.v4i0.624>
3. Belupú, C. (2022). Propuesta de una plataforma de agricultura inteligente basada en IoT para el monitoreo de las condiciones climáticas del cultivo de banano (Tesis doctoral en Ingeniería con mención en: Automatización, Control y Optimización de Procesos). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.
4. Carteri, Lutz, Bilhalva, Acosta, Menezes, and Pereira, 2022. "Prototype wireless sensor network and Internet of Things platform for real-time monitoring of intergranular equilibrium moisture content and predict the quality corn stored in silos bags" *Expert Systems with Applications* Volume 208, 118242, ISSN 0957-4174. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118242>.
5. Gómez, J. E., Castaño, S., Mercado, T., Fernandez, A., & Garcia, J. (2017). Sistema de internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de cultivos protegidos. *Ingeniería e innovación*. <https://doi.org/10.21897/23460466.1101>
6. Hamza Benyezza, Mounir Bouhedda, Reda Kara, Samia Rebouh, 2023. "Smart platform based on IoT and WSN for monitoring and control of a greenhouse in the context of precision agricultura"
7. *Internet of Things*, Volume 23, 100830, ISSN 2542-6605.
8. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100830>.
9. Himanshu Sharma, Ahteshamul Haque, Zainul Abdin Jaffery, 2019. "Maximization of wireless sensor network lifetime using solar energy harvesting for smart agriculture monitoring" *Ad Hoc Networks*, Volume 94, 101966, ISSN 1570-8705. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2019.101966>.

10. Ilchev, S. (2023). Design Considerations, Architecture and Implementation of a Wireless Sensor Network for Use in Smart Education. In: Kubincová, Z., Caruso, F., Kim, Te., Ivanova, M., Lancia, L., Pellegrino, M.A. (eds) Methodologies and Intelligent Systems for Technology Enhanced Learning, Workshops - 13th International Conference. MIS4TEL 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 769. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42134-1_18
11. Lin and Cheung, 2020. "Developing WSN/BIM-Based Environmental Monitoring Management System for Parking Garages in Smart Cities" *Journal of Management in Engineering* Vol. 36, No. 3. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000760](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000760)
12. Mora Magallanes, H. V., & Rosas Pari, J. L. (2019). Diseño, desarrollo e implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN) para el control, monitoreo y toma de decisiones aplicado en la agricultura de precisión basado en internet de las cosas (IOT).
13. N. Fahmi, S. Huda, E. Prayitno, M. U. H. Al Rasyid, M. C. Roziqin and M. U. Pamenang, "A prototype of monitoring precision agriculture system based on WSN," 2017 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), Surabaya, Indonesia, 2017, pp. 323-328, doi: 10.1109/ISITIA.2017.8124103.
14. Ouni, Ridha, and Kashif Saleem. 2022. "Framework for Sustainable Wireless Sensor Network Based Environmental Monitoring" *Sustainability* 14, no. 14: 8356. <https://doi.org/10.3390/su14148356>
15. Santana Ching, I., Cárdenas Rivero, A. J., Sosa López, R., & Portal Díaz, J. A. (2020). Monitoreo de parámetros ambientales en casas de cultivo a través de aplicación IoT. *Revista Cubana De Transformación Digital*, 1(1), 53–62. Recuperado a partir de <https://rctd.uic.cu/rctd/article/view/46>
16. Wahid, A., Syahbani, D., and Adiba, F. (2023), "Implementation of Smart Farming for Oyster Mushroom Cultivation Based on Wireless Sensor Network Using ESP8266", *Internet of Things & Artificial Intelligence Journal*, Vol. 3 No. 2. <https://doi.org/10.31763/iota.v3i2.610>
17. Zhou, N., Chang-Richards, A., Wang, K.I.-K. and Dirks, K.N. (2022), "Prototyping an IoT-based system for monitoring building indoor environment", *Journal of Engineering, Design and Technology*, Vol. 20 No. 4, pp. 965-992. [https://doi.org/10.1108/JEDT-06-2021-](https://doi.org/10.1108/JEDT-06-2021-032)
18. 032

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).