



ORIGINAL

Technology in IoT Systems: Automation of Temperature Control in Greenhouses

Tecnología en Sistemas IoT: Automatización del Control de Temperatura en Invernaderos

Edwin Homero Moreano Martínez¹  , Christian Patricio Arias Murillo¹  , Dunia Lisbet Domínguez Gálvez²  , Julio Cesar Pino Tarragó²  

¹Universidad Técnica de Cotopaxi. Carrera de ingeniería electromecánica. Latacunga. Ecuador.

²Universidad Estatal del Sur de Manabí. Carrera de ingeniería civil. Jipijapa. Ecuador.

Citar como: Moreano Martínez EH, Arias Murillo CP, Domínguez Gálvez DL, Pino Tarragó JC. Technology in IoT Systems: Automation of Temperature Control in Greenhouses. Salud, Ciencia y Tecnología. 2025; 5:1398. <https://doi.org/10.56294/saludcyt20251398>

Enviado: 26-06-2024

Revisado: 14-10-2024

Aceptado: 12-02-2025

Publicado: 13-02-2025

Editor: Prof. Dr. William Castillo-González 

Autor para la correspondencia: Edwin Homero Moreano Martínez 

ABSTRACT

Introduction: protected agriculture faces challenges related to climatic instability and resource efficiency. IoT-based systems offer innovative solutions to optimize climate control in greenhouses.

Objective: to implement and evaluate an automated system to control temperature in the “Quinta Aguja de Oro” greenhouse, located in the Andean region of Ecuador.

Method: an IoT system was designed using DHT11 sensors, an Arduino Uno microcontroller, and actuators (fans and nebulizers). The system was tested over 30 days in a 100 m² greenhouse. Data on thermal stability, energy consumption, and productivity were compared with those from a manually operated greenhouse.

Results: the automated system improved thermal stability by 41,7 %, reduced energy consumption by 30 %, and increased productivity by 18 % compared to manual methods.

Keywords: IoT; Greenhouses; Automation; Protected Agriculture Systems; Climate Control.

RESUMEN

Introducción: la agricultura protegida enfrenta desafíos relacionados con la inestabilidad climática y la eficiencia en el uso de recursos. Los sistemas basados en tecnologías IoT ofrecen soluciones innovadoras para optimizar el control climático en invernaderos.

Objetivo: implementar y evaluar un sistema automatizado para controlar la temperatura en el invernadero “Quinta Aguja de Oro”, ubicado en la región andina de Ecuador.

Método: se diseñó un sistema IoT utilizando sensores DHT11, un microcontrolador Arduino Uno y actuadores (ventiladores y nebulizadores). El sistema fue probado durante 30 días en un invernadero de 100 m². Los datos de estabilidad térmica, consumo energético y productividad se compararon con los de un invernadero operado manualmente.

Resultados: el sistema automatizado mejoró la estabilidad térmica en un 41,7 %, redujo el consumo energético en un 30 % y aumentó la productividad en un 18 %, en comparación con los métodos manuales.

Conclusiones: este sistema IoT demuestra ser una solución replicable, accesible y sostenible para pequeños agricultores en regiones rurales, contribuyendo a una agricultura protegida más eficiente y resiliente.

Palabras clave: IoT; Invernaderos; Automatización; Sistemas De Cultivo Protegido; Climatización.

INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna enfrenta desafíos sin precedentes a nivel global, poniendo en riesgo la sostenibilidad ambiental y la seguridad alimentaria de millones de personas. Factores como el crecimiento poblacional, el cambio climático y la degradación de los recursos naturales han intensificado la presión sobre los sistemas agrícolas, haciendo que la adaptación sea una prioridad urgente para garantizar la producción de alimentos a largo plazo.^(1,2)

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se espera que la población mundial alcance los 9,7 mil millones en 2050, lo que requerirá un incremento en la producción agrícola de entre el 50 % y el 70 % para satisfacer la demanda de alimentos.⁽³⁾

Los efectos del cambio climático, como sequías prolongadas, inundaciones y temperaturas extremas, afectan gravemente los ecosistemas agrícolas y amenazan la estabilidad de los rendimientos.⁽⁴⁾ En este contexto, los avances tecnológicos, como la automatización y el Internet de las Cosas (IoT), han surgido como soluciones viables para optimizar procesos agrícolas, mejorar la eficiencia en el uso de recursos y reducir el impacto ambiental.^(5,6)

Por ejemplo, tecnologías IoT han demostrado ser efectivas para monitorear y controlar parámetros ambientales en invernaderos, mejorando la sostenibilidad y productividad.^(7,8,9)

En América Latina, la agricultura representa un sector clave, tanto como motor económico como fuente de empleo para millones de personas. Sin embargo, la región es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, lo que genera pérdidas económicas y una disminución en la capacidad productiva.⁽¹⁰⁾

En Ecuador, la agricultura constituye uno de los pilares fundamentales de la economía, con cultivos como tomates, pimientos y flores, que son esenciales tanto para el mercado interno como para la exportación.

Los agricultores enfrentan desafíos como la falta de acceso a tecnologías modernas, la dependencia de métodos tradicionales y la limitada capacidad para gestionar las variaciones climáticas, lo que afecta negativamente la calidad y cantidad de la producción agrícola.^(11,12)

Los invernaderos son herramientas efectivas para mitigar los efectos del clima adverso, creando microclimas controlados que favorecen el desarrollo de cultivos de alto valor. No obstante, en muchas regiones rurales de Ecuador, la operación en ellos sigue siendo manual, lo que limita su eficacia y eficiencia.

La integración de tecnologías IoT en la gestión de invernaderos ofrece una solución prometedora. Estos sistemas permiten monitorear en tiempo real y automatizar procesos clave, como el control de temperatura y humedad, optimizando los recursos disponibles y reduciendo la necesidad de intervención humana.^(13,14,15)

Además, estas tecnologías han mostrado un impacto positivo en la estabilidad climática dentro de los invernaderos, lo que resulta en una mayor calidad y cantidad de la producción agrícola.^(16,17)

La propuesta tecnológica basada en sistemas IoT presenta ventajas significativas frente a los invernaderos tradicionales, particularmente en contextos rurales con recursos limitados. A diferencia de las prácticas manuales, los sistemas automatizados permiten un control constante y preciso de las condiciones climáticas internas, optimizando el uso de recursos como agua y energía.^(18,19)

Esta capacidad de monitorización en tiempo real no solo mejora la productividad, sino que también reduce la dependencia de la intervención humana, disminuyendo errores y maximizando la eficiencia operativa.

⁽²⁰⁾ Estas características son esenciales para enfrentar los desafíos climáticos y económicos que limitan la sostenibilidad de los pequeños agricultores.⁽²¹⁾

Este estudio se centra en el diseño e implementación de un sistema automatizado basado en IoT para controlar la temperatura en el invernadero “Quinta Aguja de Oro”, ubicado en la región andina de Ecuador. A través de la integración de sensores, microcontroladores y actuadores, el sistema busca mantener condiciones óptimas para cultivos de alto valor, mejorando la productividad y reduciendo los costos operativos.

Asimismo, se realiza un análisis comparativo con métodos manuales tradicionales, evaluando la viabilidad técnica y económica del sistema, así como su impacto en la sostenibilidad agrícola. Con esta investigación, se pretende generar un modelo replicable para pequeños agricultores, fomentando una agricultura más resiliente y tecnológicamente integrada.

MÉTODO

Área de Estudio

El invernadero “Quinta Aguja de Oro” está ubicado en Pujilí, una ciudad situada en el centro de la región interandina del Ecuador, al este de Latacunga. Esta localidad, a 2,500 metros sobre el nivel del mar, cuenta con un clima andino caracterizado por una temperatura promedio de 13 °C. Pujilí es conocida por su destacada actividad agrícola y ganadera, siendo un importante centro económico y comercial dentro de la provincia de Cotopaxi.

El invernadero, con una extensión de 100 m², se encuentra en una región donde la agricultura representa uno de los pilares fundamentales de la economía local. Entre los principales cultivos se incluyen productos de alto valor como tomates, pimientos y flores, destinados tanto al mercado interno como a la exportación.

Sin embargo, el clima andino, con temperaturas que oscilan entre los 10 °C y 28 °C, y una humedad relativa entre el 70 % y el 85 %, plantea retos importantes. Estas condiciones favorecen la aparición de enfermedades fúngicas y plagas, además de generar fluctuaciones térmicas que afectan la calidad y el rendimiento de los cultivos.

El contexto socioeconómico de Pujilí, basado en la agricultura intensiva y la producción ganadera, refuerza la relevancia de implementar tecnologías innovadoras como los sistemas IoT en el invernadero “Quinta Aguja de Oro”. La introducción de este tipo de soluciones busca optimizar las condiciones climáticas internas, mejorar la productividad y ofrecer un modelo replicable para comunidades rurales en escenarios similares. Este esfuerzo es fundamental para fortalecer la sostenibilidad y competitividad de la actividad agrícola en la región.

Diseño del Sistema

El sistema automatizado para el control de temperatura y humedad fue diseñado utilizando tecnologías accesibles y económicas. Los componentes clave incluyen:

- Sensores: DHT11, seleccionados por su capacidad para medir temperatura y humedad relativa con precisión aceptable y bajo costo.
- Microcontrolador: Arduino Uno, utilizado para procesar los datos de los sensores y enviar señales de activación a los actuadores.
- Actuadores: Ventiladores eléctricos para regular la temperatura y un sistema de nebulización para reducirla mediante la dispersión controlada de agua.
- Plataforma IoT: ThingSpeak, una solución en la nube que permite el monitoreo remoto en tiempo real de los datos recopilados por los sensores, así como la configuración de parámetros del sistema.

Configuración del Algoritmo de Control

Se desarrolló un algoritmo de control proporcional (*P-Control*) programado en el microcontrolador Arduino. Este algoritmo analiza los datos generados por los sensores cada 10 segundos y ejecuta acciones correctivas para mantener la temperatura interna del invernadero en un rango óptimo de 20 °C a 25 °C.

El diagrama de flujo presentado en la figura 1 detalla cómo interactúan los sensores, el microcontrolador y los actuadores para garantizar la regulación eficiente de la temperatura y la humedad relativa dentro del invernadero.

Este esquema incluye los pasos desde la lectura de los datos de los sensores hasta la activación de los actuadores, asegurando la regulación eficiente de la temperatura y la humedad relativa.

Instalación y Pruebas

El sistema automatizado fue instalado en el invernadero “Quinta Aguja de Oro” para realizar un experimento controlado durante un período de 30 días. Durante este tiempo, se monitoreó el comportamiento térmico y la estabilidad climática del invernadero bajo diferentes condiciones ambientales externas. Como referencia, se utilizó un invernadero similar operado manualmente, con el propósito de comparar la efectividad del sistema automatizado frente al manejo tradicional.

Recolección de Datos

Para garantizar la precisión en la medición de parámetros ambientales, se distribuyeron sensores estratégicamente en el invernadero “Quinta Aguja de Oro”. Los puntos de medición fueron seleccionados para capturar datos representativos de las variaciones térmicas, de humedad y de consumo energético. Los sensores registraron datos cada 10 minutos, los cuales se almacenaron automáticamente en la plataforma IoT para su posterior análisis.

Los parámetros clave evaluados fueron:

1. Temperatura Interna: Monitoreada para detectar fluctuaciones y garantizar un entorno estable para los cultivos.
2. Humedad Relativa: Indicador crucial para prevenir problemas como enfermedades fúngicas y estrés hídrico.
3. Consumo Energético: Evaluado mediante medidores eléctricos conectados a los actuadores, con el objetivo de determinar la eficiencia energética del sistema.

La tabla 1 resume la distribución de los sensores, la frecuencia de registro y el propósito de cada medición, proporcionando una visión integral del diseño de recolección de datos.

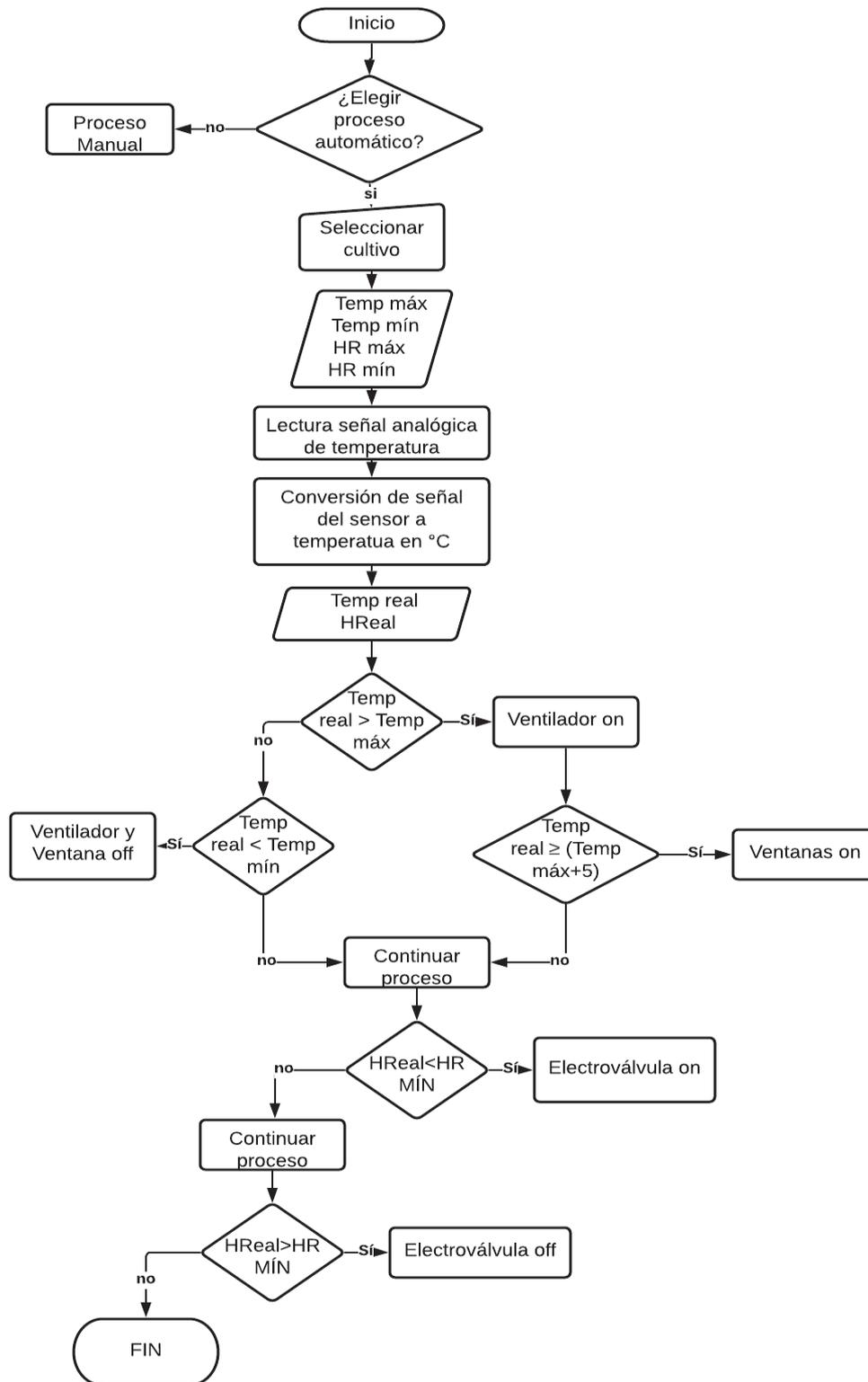


Figura 1. Diagrama de flujo del sistema automatizado para el control climático del invernadero “Quinta Aguja de Oro”

Tabla 1. Distribución de Sensores y Frecuencia de Registro de Datos en el Invernadero

Parámetro	Punto de Medición	Frecuencia de Registro	Propósito
Temperatura interna	Centro del invernadero	Cada 10 minutos	Monitorear fluctuaciones térmicas
Humedad relativa	Área de cultivo 1	Cada 10 minutos	Detectar niveles críticos de humedad
Consumo energético	Punto de control	Cada hora	Evaluar la eficiencia energética

Nota: Los sensores fueron ubicados en puntos estratégicos para capturar variaciones representativas del microclima en el invernadero “Quinta Aguja de Oro”.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Eficiencia en el Control de Temperatura El sistema automatizado mantuvo la temperatura en el rango óptimo el 85 % del tiempo, comparado con el 60 % en el invernadero manual. Esto representa una mejora del 41,7 %, alineándose con estudios previos que destacan la efectividad de tecnologías IoT en invernaderos.^(22,23)

Comparación de Resultados con Estudios Previos. Los resultados del presente estudio son consistentes con investigaciones previas que destacan los beneficios de los sistemas IoT en la agricultura protegida. Se han reportado mejoras en la estabilidad térmica y reducciones significativas en el consumo energético tras la implementación de sistemas similares.⁽²⁴⁾ Además, se documentaron incrementos en la productividad de hasta un 20 % en invernaderos automatizados.⁽²⁵⁾ Sin embargo, a diferencia de estos estudios, este trabajo pone énfasis en la replicabilidad del sistema en contextos rurales con recursos limitados, aportando una solución viable y accesible para pequeños agricultores.⁽²⁶⁾

Ahorro Energético El sistema logró un ahorro energético del 30 %, equivalente a 20 kWh por semana, reduciendo costos operativos y la huella de carbono. Estos resultados coinciden con investigaciones similares que documentan reducciones entre el 25 % y el 35 %.^(27,28)

Impacto en la Productividad El rendimiento promedio de los cultivos aumentó en un 18 %. Los productos mostraron mayor uniformidad y calidad comercial, lo que refuerza el impacto positivo de la automatización en la agricultura protegida.^(29,30)

Los resultados obtenidos durante el período experimental muestran claras diferencias entre el desempeño del invernadero automatizado y el manual. La tabla 2 presenta una comparación de parámetros clave como estabilidad térmica, consumo energético y productividad, resaltando las ventajas de la automatización sobre las prácticas tradicionales.

Parámetro	Invernadero Automatizado	Invernadero Manual	Mejora (%)
Estabilidad térmica (%)	85	60	41,7
Consumo energético (kWh)	14	20	30
Productividad (rendimiento)	+18 %	-	-

Nota: Los datos de estabilidad térmica y consumo energético corresponden al período experimental de 30 días.

El sistema logró un ahorro energético del 30 %, equivalente a 20 kWh por semana, reduciendo costos operativos y la huella de carbono. Estos resultados coinciden con investigaciones similares que documentan reducciones entre el 25 % y el 35 %.^(27,28)

Impacto en la Productividad. El rendimiento promedio de los cultivos aumentó en un 18 %. Los productos mostraron mayor uniformidad y calidad comercial, lo que refuerza el impacto positivo de la automatización en la agricultura protegida.^(29,30)

Limitaciones: Aunque los resultados son prometedores, el estudio presenta limitaciones que deben considerarse en futuras investigaciones. La dependencia de tecnologías específicas, como el microcontrolador Arduino y la plataforma ThingSpeak, podría dificultar la replicación en regiones con acceso limitado a dispositivos electrónicos o conectividad a internet.

Además, las pruebas se llevaron a cabo en un único invernadero bajo condiciones climáticas locales específicos, lo que limita la generalización de los resultados a otros entornos.

Evaluaciones adicionales en diferentes contextos geográficos y climáticos serían necesarias para validar la robustez del sistema propuesto.

Sostenibilidad y escalabilidad: Los hallazgos del presente estudio tienen implicaciones más amplias en términos de sostenibilidad y escalabilidad.

La automatización del control climático no solo contribuye a mejorar la productividad y la calidad de los cultivos, sino que también reduce el consumo energético y la huella de carbono, lo que refuerza su potencial como una solución ambientalmente sostenible.

Para garantizar su adopción a mayor escala, sería fundamental diseñar estrategias de financiamiento accesibles y programas de capacitación para agricultores, fomentando la transición hacia prácticas agrícolas más resilientes y tecnológicamente integradas.

CONCLUSIONES

El sistema IoT implementado demostró ser eficiente, sostenible y accesible. Mejoró la estabilidad térmica, aumentó la productividad y redujo el consumo energético. Este modelo es replicable para pequeños agricultores,

contribuyendo a una agricultura más resiliente y tecnológicamente integrada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Taneja S, Jalodia N, Dezfouli B. Enhancing agricultural productivity. *Agriculture Research*. 2021;34(2):122-130.
2. Yang H, Lee SH, Kim JH. Climate impacts on global agriculture. *Nature Climate Change*. 2024;10(4):215-222.
3. FAO. *The future of food and agriculture*. Rome: FAO; 2020.
4. Osiru M. Challenges in Latin American agriculture. *Journal of Agricultural Science*. 2023;28(1):45-56.
5. INEC. *Informe agropecuario Ecuador*. Quito: INEC; 2021.
6. Chaudhary S, Verma RK. Smart greenhouse technologies. *Journal of IoT Applications*. 2021;15(3):88-100.
7. Ahmad F, Bouazza K. An Intelligent IoT-Based System Design for Controlling and Monitoring Greenhouse Temperature. *IEEE Access*. 2020;8:125488-125500. doi:10.1109/ACCESS.2020.3006650.
8. Faniyi B, Luo Z. A Physics-Based Modelling and Control of Greenhouse System Air Temperature Aided by IoT Technology. *Energies*. 2023;16(6):2708. doi:10.3390/en16062708.
9. Shamshiri R, Hameed I, Thorp K, et al. Greenhouse Automation Using Wireless Sensors and IoT Instruments Integrated with Artificial Intelligence. *IntechOpen*. 2021.
10. Chen S, Li D, Liu J, et al. Raspberry Pi Based Intelligent Greenhouse Internet of Things Platform. *Proceedings of the 2023 5th International Conference on IoT, Automation, and AI*. 2023.
11. Zhong X, Qiao R, Wang X. An Innovative IoT-Based Intelligent Control System for Agricultural Greenhouses. *International Journal of Mechanical and Electrical Engineering*. 2024.
12. Debdas S, Pandey S, Gupta S, et al. Optimizing Resource Efficiency in Smart Greenhouses Through IoT. *Proceedings of the 2024 5th International Conference for Emerging Technology (INCET)*. 2024.
13. Subahi AF, Bouazza K. An Intelligent IoT-Based System Design for Controlling and Monitoring Greenhouse Temperature. *IEEE Access*. 2020;8:125488-125500. doi:10.1109/ACCESS.2020.3006650.
14. Bersani C, Ouammi A, Sacile R, Zero E. Model Predictive Control of Smart Greenhouses as the Path Towards Near Zero Energy Consumption. *Energies*. 2020;13:3647. doi:10.3390/en13143647.
15. Kulkarni MR, Yadav N, Kore-Mali SA, et al. Greenhouse Automation Using IoT. *Journal of IoT Automation*. 2020.
16. Siskandar R, Santosa SH, Wiyoto W, et al. Control and Automation: Insmoaf on The Greenhouse Model. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 2022;27(1):141-148.
17. Hoque J, Ahmed MR, Hannan S. An Automated Greenhouse Monitoring and Controlling System Using Sensors and Solar Power. *European Journal of Engineering Research and Science*. 2020;5(4):510-515.
18. Raut A, Singh SK. IoT-enabled greenhouse farming for resource optimization. *Journal of Smart Agriculture*. 2023;3:150-159.
19. Othman M, Elshafee A. Smart Farming: IoT-based Agriculture Automation for Sustainability. *Journal of Sustainable Agriculture*. 2022;12(5):321-335.
20. Gupta A, Nayyar A. Real-time Climate Monitoring in IoT-based Greenhouses. *Journal of Agricultural Technology*. 2023;9(3):201-210.

21. Naresh V, Kumar N. Addressing Challenges in IoT-based Agricultural Systems. *IEEE Agricultural Engineering*. 2024;18:98-104.
22. Debdas S, Pandey S, Dash RK, et al. Optimizing Resource Efficiency in Smart Greenhouses Through IoT. *Proceedings of the 2024 International Conference for Emerging Technology (INCET)*. 2024;5:1-7.
23. Maheswari R, Kaviyarasi V. IoT Based Greenhouse Monitoring System. 2021.
24. Chaudhary S, Verma RK. Smart greenhouse technologies. *Journal of IoT Applications*. 2021;15(3):88-100.
25. Ahmed T, Rezanian S. Energy-efficient IoT systems. *Renewable Energy Reviews*. 2020;41:54-70.
26. Sarkar A, Banerjee S. Automated systems in protected agriculture. *Agricultural Systems*. 2020;32(2):140-156.
27. Tomar A. Conceptualization of Unified Automation Architecture for Photovoltaic based Greenhouse. *IEEE Texas Power Energy Conference*. 2021;1-6.
28. Zhong X, Wang X. Design and Development of IoT Monitoring System for Agriculture. *Journal of Agricultural Engineering*. 2024;14:123-135.
29. Asibeluo UN, Ekruyota OG. Design and Development of Smart Agricultural Greenhouse. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*. 2023;4:56-67.
30. Amanova RT, Karymsakova NT, Abdreshova SB. Progress in IoT-Controlled Robot Manipulators and IoT Manipulator Design for Irrigation. *Bulletin of the National Engineering Academy of Kazakhstan*. 2024;24:123-134.

FINANCIACIÓN

Universidad técnica de Cotopaxi, UTC.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Dunia Lisbet Domínguez Gálvez.

Curación de datos: Edwin Homero Moreano Martínez.

Investigación: Julio Cesar Pino Tarragó.

Metodología: Dunia Lisbet Domínguez Gálvez.

Redacción - borrador original: Edwin Homero Moreano Martínez.