EIEI ACOFI 2025
5º Congreso Latinoamericano de Ingeniería
Más Información: www.acofi.edu.co/eiei
Ingeniería de impacto para cuidar y transformar la vida
ACOFI: 50 años por la excelencia de la educación en ingeniería.

Invernadero Inteligente con control de variables de cultivos usando herramientas de IA

Luis Arias Barragán, Andrea Aparicio, Ricardo Alirio González, Tito Nuncira, Daniel Penagos

Universidad ECCI
Bogotá, Colombia

Resumen

En el presente trabajo se muestran las fases de diseño e implementación del prototipo de un invernadero inteligente que utiliza tecnología de inteligencia artificial (IA) para reconocimiento y procesamiento de imagen, así como sensores IoT para optimizar las condiciones de crecimiento de las lechugas, específicamente de la variedad romana, a través de un control eficiente de variables como la temperatura, humedad, iluminación, dosificación de nutrientes y el uso del agua. Desde el punto de vista metodológico se han estructurado las fases de desarrollo partiendo de una recopilación de requerimientos de la aplicación de control, la selección y disposición de los elementos de sensores y actuadores, así como el planteamiento de la estrategia de gestión del invernadero para la toma de decisiones a partir del análisis de datos y su procesamiento mediante herramientas de Inteligencia Artificial como POWERBI. Los resultados muestran el mejoramiento en los parámetros de crecimiento de las plantas y su calidad en cuanto a valores nutricionales.

Palabras clave: invernadero inteligente; control de variables; inteligencia artificial; lechuga romana; dosificación de nutrientes

Abstract

This paper presents the design and implementation phases of a smart greenhouse prototype that utilizes advanced artificial intelligence (AI) technologies and IoT sensors to optimize lettuce growth conditions, specifically the Romaine lettuce variety, through efficient control of variables such as temperature, humidity, lighting, nutrient dosage, and water usage. From a methodological perspective, the phases were structured based on a compilation of control application requirements, the selection and arrangement of sensor and actuator elements, and the development of a greenhouse management strategy for decision-making based on data analysis and processing using

DOI: https://doi.org/10.26507/paper.4274

Artificial Intelligence tools such as POWERBI. The results show improvements in plant growth parameters and their nutritional quality.

***Keywords**: smart greenhouse; variable control; artificial intelligence; romaine lettuce; nutrient dosing*

1. Introducción

La seguridad alimentaria es una preocupación a nivel mundial cuyas implicaciones afectan la disponibilidad, el acceso, la utilización y la estabilidad de los alimentos en diversas regiones del mundo. Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), la inseguridad alimentaria ha ido aumentando en los últimos años como lo muestra en la figura 1, el balance del periodo 2020-2022 debido a factores como el cambio climático, los conflictos bélicos, la escasez de recursos naturales y las crisis económicas (FAO, FIDA, OMS, PMA & UNICEF, 2023).

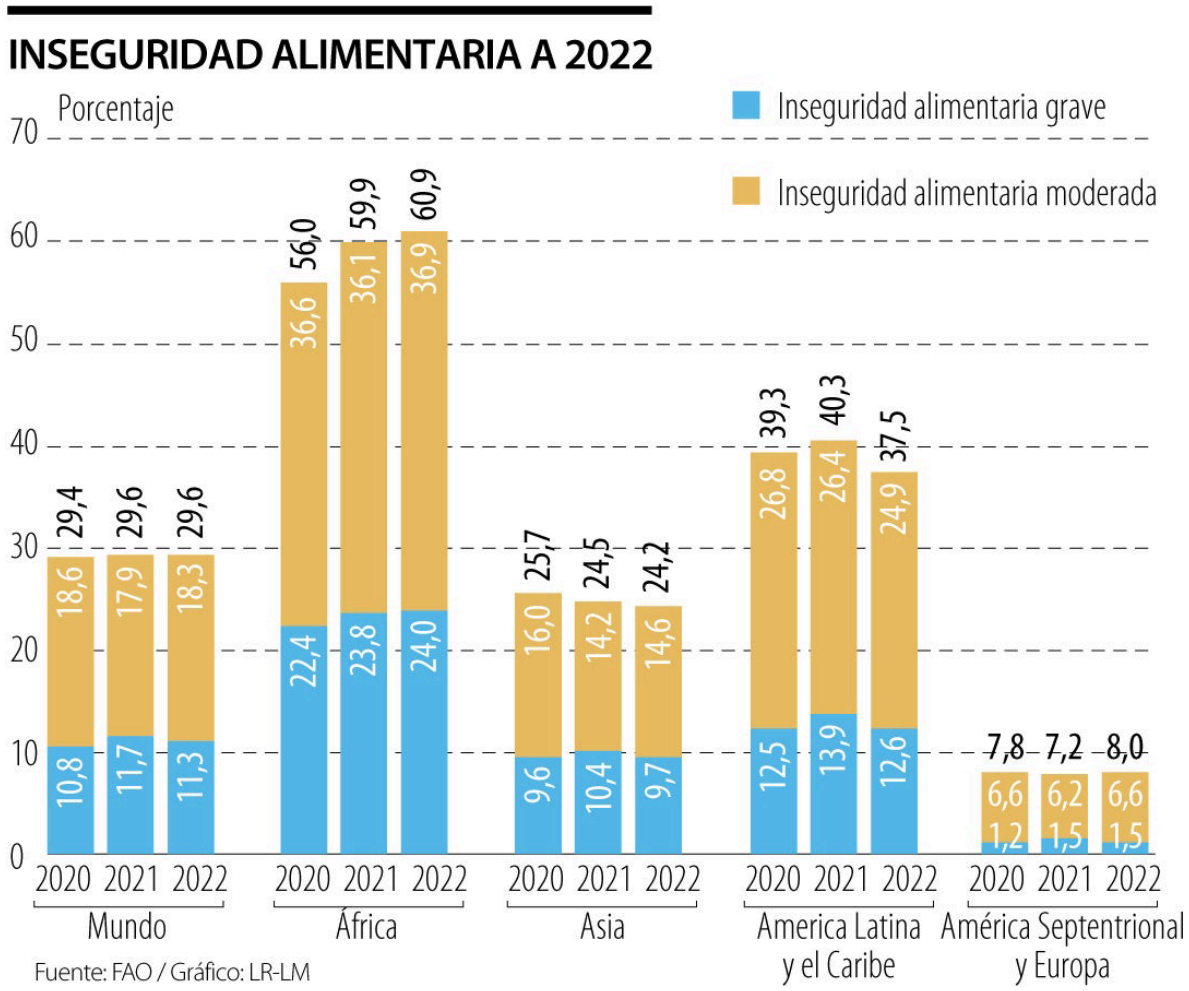


Figura 1. Niveles de inseguridad alimentaria en el mundo periodo 2020-2022. Fuente: FAO, 2023.

En el caso de **Colombia**, el país enfrenta varios retos relacionados con la seguridad alimentaria dentro de los cuales se tiene la desigualdad en el acceso a alimentos entre regiones y grupos sociales, la alta dependencia de las importaciones, y adicional a ello están los impactos del cambio climático que afectan las cosechas. La agricultura de Colombia tal y como pasa con otros países Latinoamericanos resulta en gran medida vulnerable a fenómenos como el Niño (caracterizado por largas sequias) y La Niña (caracterizados por copioso régimen de lluvias), lo que impacta la producción y la disponibilidad de alimentos. La figura 2, muestra que el 78 % del territorio equivalente a 26 departamentos de los 33 que conforman la división política del país, se encuentran en estado por encima de la vulnerabilidad media, y de ellos 19 departamentos en total están en peligro critico en cuanto se refiere a la seguridad alimentaria, desastres y cambio climático (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023).

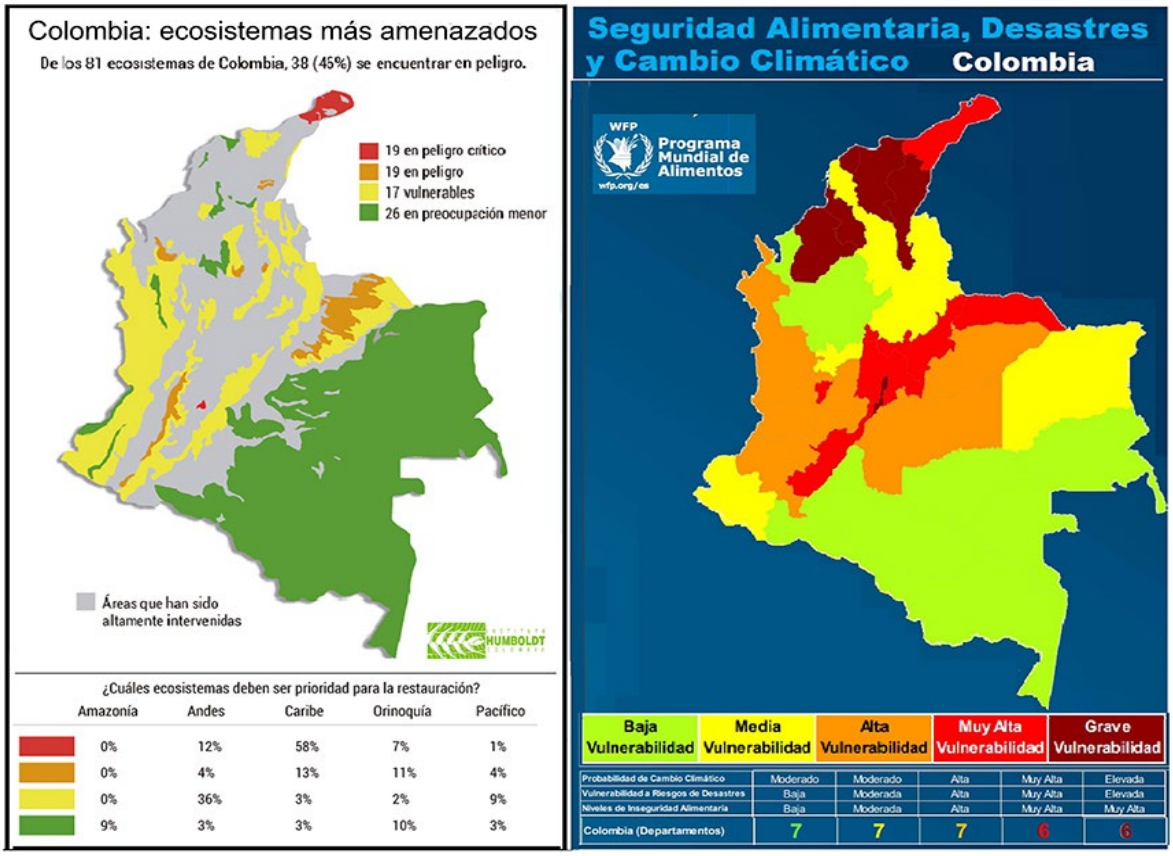


Figura 2. Regiones y departamentos de Colombia en estado de vulnerabilidad ante la problemática de seguridad alimentaria, desastres y cambio climático. Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023).

El marco de la problemática de seguridad alimentaria pone de manifiesto la necesidad de buscar soluciones que permitan optimizar la producción de cultivos pese a las condiciones climáticas circundantes y que permitan mejorar en calidad y cantidad los productos obtenidos. Por ello el presente trabajo propone una solución tecnológica que optimiza los cultivos, utilizando elementos de reconocimiento de imagen, sensores IoT e inteligencia artificial, inicialmente de lechuga romana, pero que puede extenderse a otros tipo de cultivos.

La revisión de bibliografía relacionada con la temática de cultivo automatizados muestra trabajos en materia del desarrollo de los cultivos sino en la autonomía de los mismos al integrarles variables de Inteligencia Artificial (Soheli et al., 2022). En esta misma línea se encuentran trabajos sobre cultivos hidropónicos, concretamente para el caso de las lechugas, abarcan multidisciplinariedad dadas las aplicaciones e integraciones de diferentes métodos aplicados para el perfeccionamiento de los cultivos (Kour et al., 2022).

Una buen parte de investigaciones resaltan el hecho de trabajar sobre La predicción de la viabilidad, sostenimiento y vida de los cultivos en tierra, estaba limitada a los estudios de campo que medían variables con demoras por cuenta de los espacios susceptibles de las inclemencias y factores difícilmente controlables para los cultivadores (Arcos et al., 2011)

La propuesta de implementar un invernadero se fundamenta en el hecho contar con un espacio controlado y las limitantes ambientales sirven para hacer mediciones más exactas (Coung et al., 2022), facilitan hacer relaciones concretas de unidades de medida claras entre lo aplicado a la planta, en este caso un nutriente en fluido sobre la raíz y el crecimiento que se observa o lo que en la planta desencadena dicha aplicación. (Chowdhury et al., 2021)

El presente artículo se encuentra estructurado de la siguiente forma: Inicialmente, se cuenta con la introducción a la problemática de la seguridad alimentaria; en la segunda sección se muestra la metodología que fue adoptada para el desarrollo del trabajo; en la sección tres se muestra la estructura del invernadero inteligente; en la sección cuatro se ilustran los diagramas de actividades y de secuencia sobre cómo funciona el sistema del invernadero inteligente apoyado en el reconocimiento de imagen y los sensores de IoT; en la sección cinco se muestran los resultados preliminares; y finalmente las conclusiones del trabajo realizado hasta el momento.

2. Metodología implementada

En lo referente a los aspectos metodológicos se han considerado las siguientes fases:

Fase 1: Planificación y Diseño del Invernadero Inteligente. En esta fase se establecieron objetivos en cuanto a la mejora en las condiciones de crecimiento de la lechuga, particularmente se ha propuesto trabajar en la etapa de formación de cabeza y madurez que se da entre los 51 y 70 días.

Es importante indicar que las etapas de crecimiento de la lechuga romana comprenden: la germinación (hasta 5 días), etapa de plántula (hasta 20 días), crecimiento vegetativo activo (hasta los 50 días). En esta fase se seleccionaron los sensores, actuadores y controladores dentro de los cuales están los sensores de temperatura y humedad para le ambiente y el sustrato donde están las lechugas. De igual forma se escogieron sensores de radiación solar, medidores de pH, caudalímetros y cámaras para la toma de imágenes periódicas. Para la adquisición de datos desde los sensores se hizo usando la tarjeta de desarrollo Núcleo-F446RE y para su visualización se usó la pantalla Nextion usando el programa **Nextion EDITOR** en donde se diseñó la interfaz gráfica. Por último, se optó por usar la programación en PHYTON para realizar la adquisición de datos.

Fase 2: Implementación del sistema de monitoreo. En esta fase se realizó la instalación física de sensores y cámaras. Se estructuro la base de datos en MySQL para poder almacenar las imágenes de la lechugas en la última etapa de su crecimiento, los parámetros de ambientales. Como tiempo de muestro en los últimos 20 días de crecimiento se optó por tomar imágenes cada hora.

Fase 3: Procesamiento y análisis de imágenes de las hoja de lechuga. Aquí se ha realizado un trabajo de campo, preguntando e indagando la opinión d ellos expertos sobre el modelo optimo de lechuga en su fase de madurez. Tomando en cuenta las opiniones de cultivadores en la zona de la región de la sabana de Bogotá se seleccionó un modelo de lechuga que se tomó como referencia para la comparación de las diferentes imágenes de lechugas del cultivo en el invernadero automatizado. Cada imagen de lechuga en su etapa de madurez fue tomada con ayuda de las cámara dispuesta para tal fin, luego fue guardada en formato jpg y etiquetada para su posterior procesamiento. En el procesamiento de la imagen se pasó la misma a escala de grises, luego se realizó la evaluación fractal de la concentración de escala de grises, y finalmente se obtuvo un gráfica y función matemática correspondiente. Una vez obtenida la función matemática que describe la densidad fractal de las imágenes de las hojas de lechuga se realiza la comparación con la función matemática de la función de referencia y se obtiene un resultado de conformidad o no frente al optimo establecido, generando un valor de similitud visual.

Como complemento a esta fase se realiza el entrenamiento de un modelo de IA con software libre utilizando la base de datos programada en PHYTON para relacionar parámetros con la imagen ideal.

Fase 4: Asesoría al cultivador y optimización de parámetros. En esta fase se analizan que imágenes de lechugas se han ido acercando al óptima fijado previamente, luego se comparan los datos ambientales en cada toma de imágenes y se recomienda hacer ajustes finos de temperatura, luz, riego y nutrientes. Se realiza la visualización de los resultados en una pantalla para que el cultivador tenga información de lo que está ocurriendo en el cultivo.

Fase 5: Validación de resultados y ajustes. En esta fase se realiza una recopilación de recomendaciones a partir del análisis que la inteligencia artificial arroja y la experticia propia de los cultivadores. Se evalúa la influencia de los parámetros en las etapas de crecimiento previo de las lechugas, y se acondicionan los ajustes propio a partir del aprendizaje progresivo.

3. Estructura del invernadero inteligente

Para la estructura del invernadero se realizaron diseños iniciales en software para luego configurar la estructura en PVC, el tamaño inicial del invernadero de prueba es de 180 cm x 120 cm x 180 cm. La estructura se ha realizado en PVC gracias a la facilidad de construcción que representa el material y la posibilidad de modularidad que proporciona en caso de que se quiera expandir a construcciones más grandes. Adicionalmente, se debe resaltar el hecho de que los tubos de PVC permiten que en su interior se dispongan tanto los cableados de los sensores, del sistema eléctrico, de los actuadores y los ductos para el sistema de riego y dosificación de nutrientes. En las figuras

3, 4, 5 y 6 se observan detalles constructivos del modelo de invernadero inicial y la disposición de los sistemas de sensores y demás controladores.

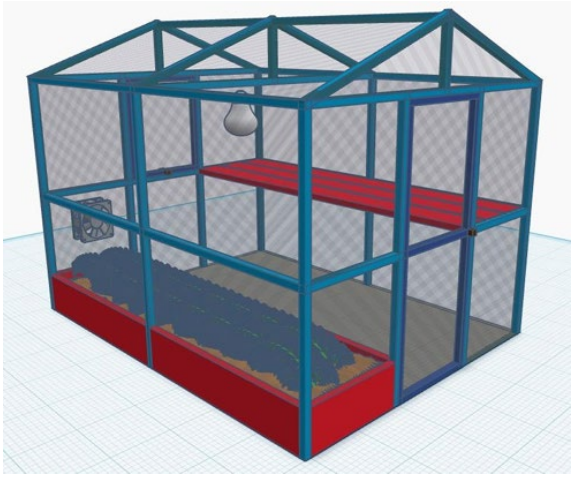
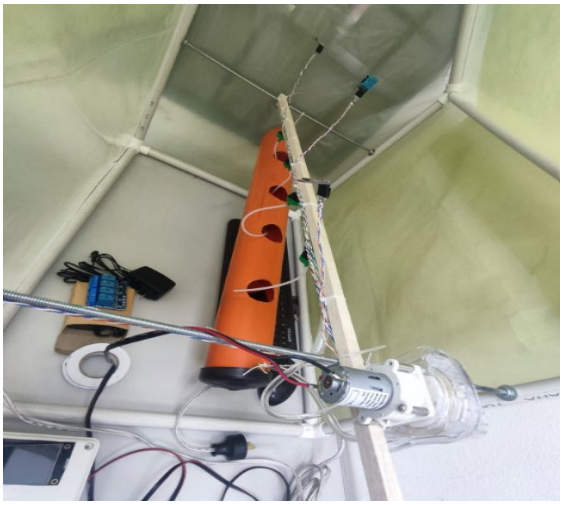


Figura 3. Diseño en software Figura 4. Estructura prototipo en PVC



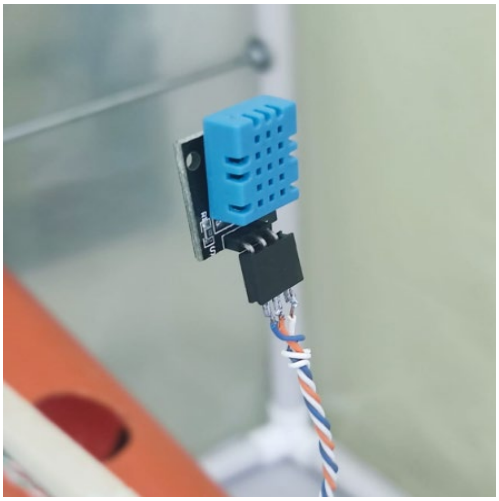
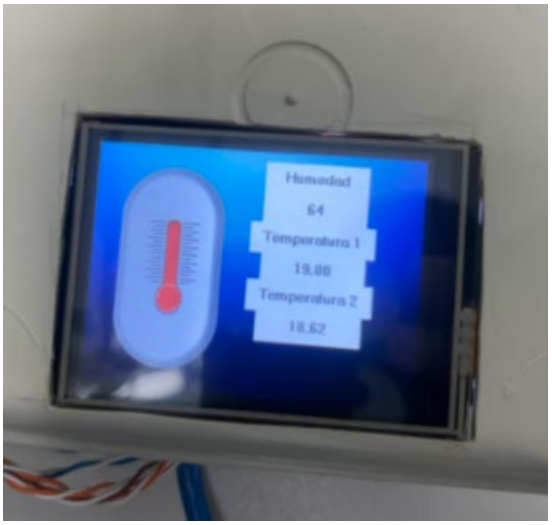


Figura 5. Ubicación de bomba de riego Figura 6. Sensor de humedad DTH11

4. Operación del sistema

La tecnología utilizada para la adquisición y procesamiento de datos es POWERBI que recopila la información entregada por parte de la red de sensores que se ubican al interior del invernadero.
El monitoreo, control y automatización de los procesos de riego, dosificación de nutrientes, control de iluminación y seguimiento al crecimiento de la lechuga y calidad de producto se realizará a partir de una red de sensores y controladores PLC in situ que serán a su vez apoyados por aplicaciones en el espacio de CLOD COMPUTING. Estos sensores captarán información crucial, como la temperatura interna, los niveles de luminosidad, la humedad del ambiente y la cantidad de nutrientes en el suelo. La información recopilada será procesada y visualizada mediante **Power**

BI, permitiendo un análisis en tiempo real del estado del cultivo y la automatización de los procesos de riego y nutrición. En la figura 7 se observan la interfaz para mostrar datos al usuario cultivador y en la figura 8 y 9 detalles de la programación para la lectura de los sensores y el CHATBOT que responde a las preguntas sobre los parámetros climáticos del invernadero.




```
void READ_DHT11() {
    while (true) {
        uint8_t data[5] = {0};
        dht11.output();
        dht11.write(0);
        ThisThread::sleep_for(18ms);
        dht11.write(1);
        delay_us(20);
        dht11.input();

        if (dht11.read() == 1) continue;
        while (dht11.read() == 0);
        while (dht11.read() == 1);

        for (int j = 0; j < 5; j++) {
            for (int i = 0; i < 8; i++) {
                while (dht11.read() == 0);
                delay_us(40);
                if (dht11.read() == 1) {
                    data[j] |= (1 << (7 - i));
```

Figura 7. Interfaz gráfica de usuario Figura 8. Programa inicial para leer sensores

```
Escribe tu mensaje: dime la temperatura
Chatbot: La temperatura es 45.0°Celsius Sensor 1 y 43.0°Celsius Sensor 2, tomada el 2025-02-07 20:11:
6.
Escribe tu mensaje: dime la temperatura
Chatbot: La temperatura es 45.0°Celsius Sensor 1 y 43.0°Celsius Sensor 2, tomada el 2025-02-07 20:12:
2.
Escribe tu mensaje: dime la humedad
Chatbot: La humedad registrada es: 43.0% tomada el: 2025-02-07 20:12:40.
Escribe tu mensaje: dime la humedad
Chatbot: La humedad registrada es: 43.0% tomada el: 2025-02-07 20:12:58.
Escribe tu mensaje: cual es la humedad
Chatbot: La humedad registrada es: 43.0% tomada el: 2025-02-07 20:13:05.
Escribe tu mensaje: dime la temperatura
Chatbot: La temperatura es 45.0°Celsius Sensor 1 y 43.0°Celsius Sensor 2, tomada el 2025-02-07 20:14:
6.
Escribe tu mensaje: dime la temperatura
Chatbot: La temperatura es 45.0°Celsius Sensor 1 y 43.0°Celsius Sensor 2, tomada el 2025-02-07 20:15:
Chatbot: La temperatura es 45.0°Celsius Sensor 1 y 43.0°Celsius Sensor 2, tomada el 2025-02-07 20:17:
6.
```

Figura 9. Detalles de programación del CHATBOT para interacción con el usuario cultivador.

La captura de imágenes se realizó con una cámara de fotografía, que luego fueron guardadas como archivos .JPG. Posteriormente, cada imagen nueva se iba comparando con la de la imagen inicial de referencia. A continuación, en las figuras 10, 11 Y 12 se ve la imagen de la lechuga optima, su grafica característica y luego las demás imágenes para comparación.

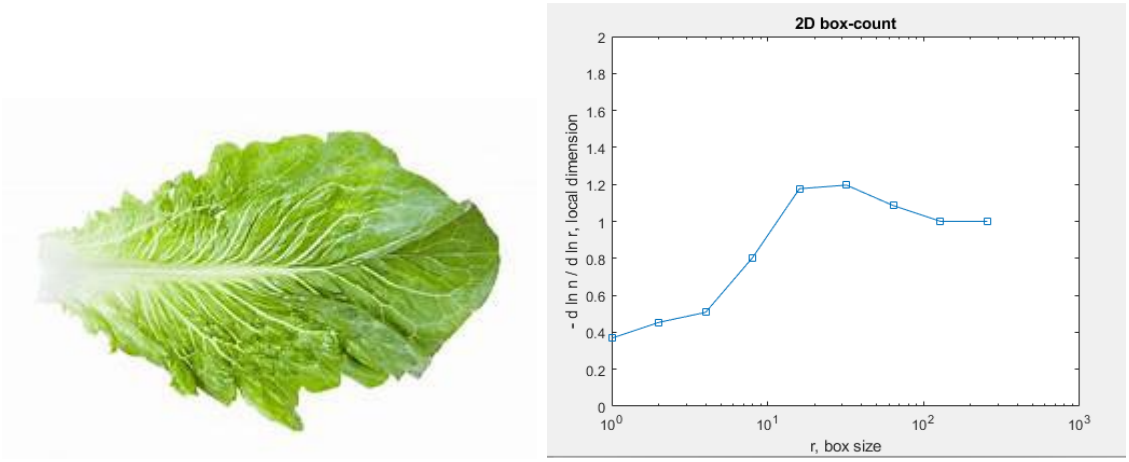


Figura 10. Imagen de lechuga óptima y su grafica de distribución fractal

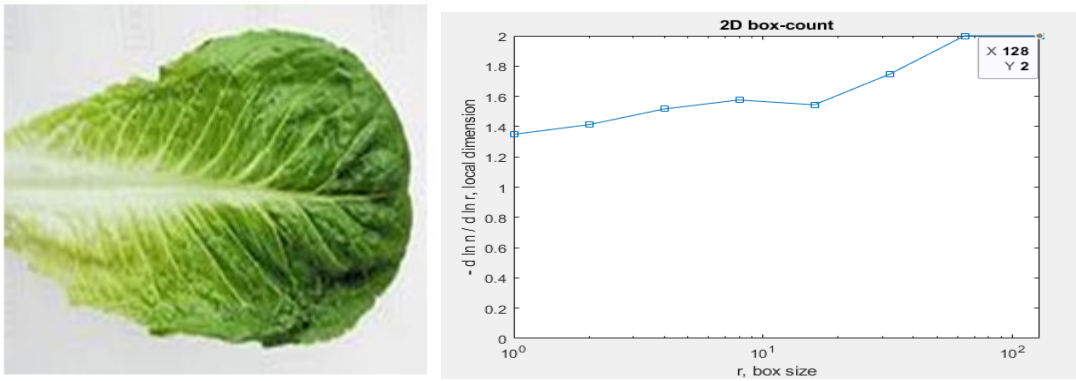


Figura 11. Imagen de lechuga 1 y su grafica de distribución fractal

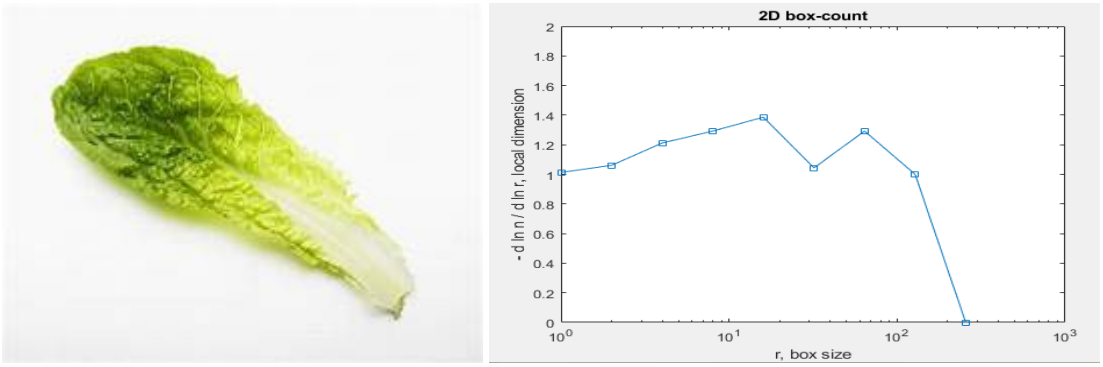


Figura 12. Imagen de lechuga 2 y su distribución fractal

Como puede notarse las imágenes de las lechugas 1 y 2 tienen figuras disimiles de la gráfica de la lechuga optima, aunque para el caso de la lechuga 1 se acerca un poco más al óptimo. La evaluación posterior debe realizarse de manera conjunta con los cultivadores para determinar los criterios de aceptación de las lechugas que se están considerando, teniendo en cuenta el conjunto de parámetros bajo los cuales se tomó cada imagen.

Para el abastecimiento energético de los sistemas de monitoreo y control se ha planteado utilizar fuentes de energía alternativa como la fotovoltaica y eólica, apoyadas en sus sistemas propios de almacenamiento en una configuración tipo SAI (Sistemas Autónomos independientes) a fin de garantizar eficiencia y robustez en todo el proceso de control y automatización. De esta forma todas las labores de monitoreo y control tendrán redundancia en cuento al abastecimiento energético se refiere y a la toma de decisiones que podrá hacerse in situ o a distancia. De manera adicional se ha planteado el aprovechamiento de recurso hídrico, orientado a hacer un uso eficiente a partir de la recirculación del agua y del aprovechamiento de aguas lluvias. En la figura 13, se observan detalles esquemáticos del sistema de abastecimiento energético y de ahorro del agua para el invernadero inteligente.

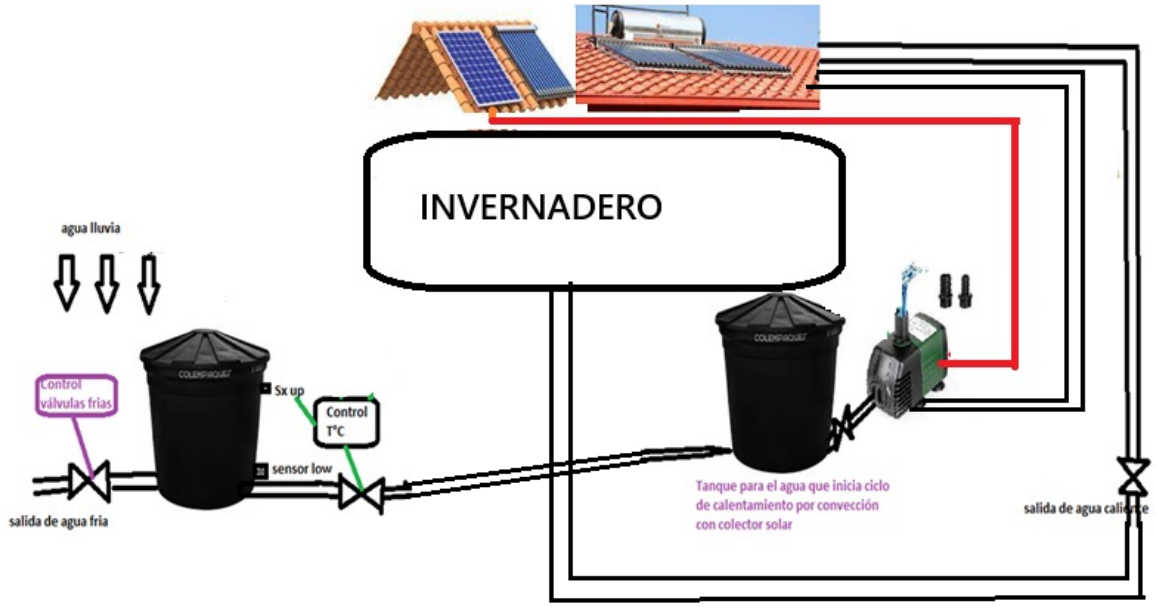


Figura 13. Diagrama esquemático del sistema de abastecimiento energético y de ahorro de agua para el invernadero inteligente.

Como se puede observar en la figura 13 el abastecimiento de agua se realiza a partir de fuentes hídricas convencionales ya sea del acueducto, o aguas propias del entorno así como de las aguas lluvias y del agua recirculada que es impulsada hacia el invernadero mediante un sistema de bombeo abastecido energéticamente por un sistema fotovoltaico, y con ayuda adicional de un colector solar que opera por efecto sifón al presentarse una diferencia térmica superior a los 50 grados centígrados en la parte superior del colector solar.

Conclusiones

El avance del trabajo realizado en el diseño e implementación del invernadero inteligente muestra la viabilidad de la integración de soluciones ambientalmente sostenibles apoyados en la experiencia de las personas cultivadoras y los avances tecnológicos como los sistemas IoT y la inteligencia artificial.

La propuesta metodológica planteada permite ser extensiva a otras variedades de cultivos, a igual que escalar la solución a mayores volúmenes de cosechas con la posibilidad de hacer viable la obtención de alimentos en cualquier época del año.

El desarrollo de un invernadero inteligente representa una estrategia innovadora que permite afrontar los retos actuales en la agricultura. A través de tecnologías como sensores IoT, reconocimiento de imagen e inteligencia artificial, se logra un control detallado de las condiciones de cultivo. Esta solución permite ajustar variables clave como temperatura, riego y nutrientes para optimizar el crecimiento de la lechuga romana. Además, el análisis fractal de las imágenes facilita una evaluación precisa del estado del cultivo, lo que mejora la toma de decisiones y la calidad del producto final.

La integración de energías limpias y sistemas de recirculación de agua en el diseño del invernadero inteligente garantiza un enfoque sostenible y autónomo en el manejo del cultivo. Esta propuesta no solo contribuye a reducir la huella ambiental del proceso agrícola, sino que también brinda mayor seguridad energética e hídrica a los productores. Al combinar automatización, monitoreo en tiempo real y asesoría basada en inteligencia artificial, se fortalece la capacidad de respuesta del agricultor ante condiciones adversas, promoviendo una agricultura más resiliente y tecnificada.

Referencias

- Arcos, J., López, M., & García, L. (2011). *Estudio sobre predicción de viabilidad de cultivos en tierra con técnicas tradicionales*. Revista de Investigación Agropecuaria, 8(2), 112-120.
- Chowdhury, R., Islam, M. T., & Hossain, M. A. (2021). *Automated hydroponic system using image processing and IoT*. International Journal of Scientific Research and Engineering Development, 4(6), 35–41.
- Coung, P. H., Nguyen, T. T., & Le, M. T. (2022). *Design and implementation of a smart greenhouse using IoT and AI*. Journal of Smart Agriculture and Environment, 9(3), 78–89.
- FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF. (2023). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2023*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). https://www.fao.org/publications
- Kour, R., Sharma, S., & Gupta, A. (2022). *Smart hydroponic system for lettuce cultivation: A multidisciplinary approach*. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, 11(1), 122–130.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). *Informe sobre la vulnerabilidad de las regiones frente a la seguridad alimentaria, desastres y cambio climático*. https://www.minagricultura.gov.co
- Soheli, S., Rahman, M. M., & Ahmed, K. (2022). *Artificial intelligence-based monitoring system for crop development*. Journal of Agricultural Technology, 18(5), 315–325.

Sobre los autores

- **Luis Arias Barragán**: Ingeniero Electromecánico, Máster en ingeniería Eléctrica, Maestría en Ciencias de la Información y las Telecomunicaciones, Doctor en Ingeniería. Profesor titular. lariasb@ecci.edu.co

- **Andrea Aparicio**: Ingeniera Electrónica, Máster en diseño, gestión y dirección de proyectos, Doctorado en proyectos (en curso). Profesor asociado. andreaapaga@ecci.edu.co
- **Daniel Penagos**: estudiante ingeniería electrónica. danielpenagos@ecci.edu.co
- **Ricardo Alirio González**: Ingeniero electrónico, Doctor en Ingeniería. Profesor Titular Programa de Ingeniería Electrónica- Universidad ECCI. ragonzalez@ecci.edu.co
- **Tito Nuncira**: Ingeniero electrónico. Magister en ingeniería. Profesor Titular Programa de Ingeniería Electrónica- Universidad ECCI. titonuncira@ecci.edu.co

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2025 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)