

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2026,
Volumen 10, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i2

**ESTUDIO ANALÍTICO DE LA VIABILIDAD DE
ACONDICIONAMIENTO DE INVERNADERO
AUTOMATIZADO CON ENFOQUE SUSTENTABLE
PARA LA AGRICULTURA DE PICHINCHA**

**ANALYTICAL STUDY OF THE FEASIBILITY OF
AUTOMATED GREENHOUSE CONDITIONING WITH A
SUSTAINABLE APPROACH FOR AGRICULTURE IN
PICHINCHA**

Richar Santiago Cuascota Méndez
Instituto superior Tecnológico Universitario Libertad, Ecuador

David Fernando Moreno Herdoiza
Investigador independiente, Ecuador

Estudio Analítico de la Viabilidad de Acondicionamiento de Invernadero Automatizado con Enfoque Sustentable para la Agricultura de Pichincha

Richar Santiago Cuascota Méndez¹

rscuascota@itslibertad.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0003-8953-3531>

Instituto superior Tecnológico

Universitario Libertad

Quito - Ecuador

David Fernando Moreno Herdoiza

david.moreno.95@outlook.com

<https://orcid.org/0009-0000-0644-2908>

Investigador Independiente

Quito - Ecuador

RESUMEN

El presente proyecto de investigación se enfocó en la puesta a prueba del invernadero automatizado creado en una primera fase por uno de los autores del presente proyecto de investigación. Esta segunda etapa tuvo como propósito validar experimentalmente su desempeño en condiciones reales de cultivo y comparar su eficiencia frente a un sistema convencional. Para lograr el objetivo de comprobar el funcionamiento del mismo se introdujo una especie de lechuga (Great Lakes), seleccionada por su alta afinidad de producción y amplia presencia en la localidad de estudio. El sistema de cultivo del invernadero automatizado se comparó con otro sistema de cultivo tradicional bajo las mismas condiciones iniciales. En ambos sistemas se realizó el monitoreo de variables climáticas como temperatura, humedad del suelo y humedad relativa; sin embargo, solo dentro del invernadero se implementó un sistema de control ON/OFF de ciertas variables internas con el fin de crear un microclima favorecedor para el desarrollo de la especie de prueba. Las variables monitoreadas se registraron y posteriormente se realizó un análisis en las diferentes etapas del ciclo de desarrollo de los cultivos de comparación. Como resultados, se evidenció una menor velocidad de variación de las variables monitoreadas en el sistema automatizado, reducción en los tiempos de producción y mayor desarrollo en altura y follaje frente al sistema tradicional. Se concluye que la automatización contribuye a optimizar el rendimiento agrícola y representa una alternativa viable para fortalecer la eficiencia productiva local y el uso responsable de los recursos naturales.

Palabras clave: invernadero, automatización, variables climáticas, temperatura, humedad palabras

¹ Autor principal.

Correspondencia: rscuascota@itslibertad.edu.ec

Analytical Study of the Feasibility of Automated Greenhouse Conditioning with a Sustainable Approach for Agriculture in Pichincha

ABSTRACT

This research project focused on testing the automated greenhouse initially developed by one of the authors of this research project. The purpose of this second phase was to experimentally validate its performance under real growing conditions and compare its efficiency with that of a conventional system. To achieve the objective of testing its operation, a lettuce variety (Great Lakes) was introduced, selected for its high yield potential and widespread presence in the study area. The automated greenhouse cultivation system was compared with another traditional cultivation system under the same initial conditions. In both systems, climatic variables such as temperature, soil moisture, and relative humidity were monitored; however, only within the greenhouse was an ON/OFF control system implemented for certain internal variables in order to create a microclimate conducive to the development of the test species. The monitored variables were recorded, and an analysis was subsequently conducted at the different stages of the development cycle of the comparison crops. The results showed a slower rate of variation in the monitored variables in the automated system, reduced production times, and greater development in height and foliage compared to the traditional system. It is concluded that automation helps optimize agricultural productivity and represents a viable alternative for enhancing local production efficiency and the responsible use of natural resources.

Keywords: greenhouse, automated, climate variables, temperature, humidity

Artículo recibido 20 marzo 2026
Aceptado para publicación: 15 abril 2026



INTRODUCCIÓN

Un invernadero es una estructura cerrada que puede ser construida de varios materiales, generalmente metálicos, de madera o combinaciones de estos, y cuenta con una cubierta transparente de plástico o vidrio que actúa como barrera protectora y generadora de un microclima, el cual puede ser modificado o controlado mediante el uso de sensores y actuadores (Cisneros & Mosquera, 2019). La integración del invernadero con la tecnología actual representa una alternativa en la búsqueda de métodos de cultivo más eficientes en un contexto de crecimiento poblacional y limitación de recursos naturales. El control de variables climáticas como temperatura y humedad permite optimizar el uso de recursos espaciales, hídricos y nutritivos, incrementando la productividad y reduciendo la dependencia de las condiciones externas (García, 2023).

Existen distintos tipos de invernaderos según el material de cobertura y la forma estructural. Los de vidrio presentan alta transmisibilidad lumínica y larga vida útil, mientras que los de polietileno son más económicos y ligeros, aunque requieren mayor mantenimiento. Asimismo, su diseño estructural —túnel, geodésico o tipo capilla— determina su adecuación a diferentes cultivos, desde especies de mayor porte hasta cultivos de ciclo corto como la lechuga (Lobo, 2023). Los denominados invernaderos inteligentes incorporan sensores, actuadores y sistemas de monitoreo que permiten regular de manera autónoma variables como temperatura, humedad e intensidad de radiación, optimizando el entorno de crecimiento (Aguilera & Ricaurte, 2024). Además, estos sistemas contribuyen a minimizar el uso de agroquímicos y a reducir la incidencia de plagas y enfermedades (Herrera, 2022).

Dentro del campo de estudio existen investigaciones relacionadas con atmósferas enriquecidas con dióxido de carbono, sistemas de fertirrigación en tiempo real y propuestas que integran controladores lógicos programables, internet de las cosas, inteligencia artificial y energías renovables para automatizar procesos agrícolas (Herrera, 2022; Guerrero, 2023; Sánchez et al., 2025). Estos estudios evidencian avances significativos en la integración tecnológica aplicada a la agricultura y resaltan su potencial para contribuir a la seguridad alimentaria en un escenario de creciente demanda poblacional (Rodríguez, 2024). Sin embargo, pese a los avances reportados, aún existe la necesidad de validar experimentalmente el desempeño de sistemas automatizados en contextos locales específicos, particularmente en lo referente a la estabilidad de las variables climáticas internas y su impacto directo



en el desarrollo fenológico y los tiempos de producción de cultivos. En este sentido, se identifica como brecha la falta de estudios comparativos bajo condiciones controladas y tradicionales que permitan cuantificar con claridad los beneficios productivos de la automatización en invernaderos a escala local. Por ello, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el funcionamiento de un invernadero automatizado mediante la comparación de su desempeño frente a un sistema de cultivo tradicional, analizando el comportamiento de las variables climáticas y su influencia en el crecimiento y tiempo de producción del cultivo seleccionado.

METODOLOGÍA

El estudio agropecuario se realizó para la lechuga great lakes, este tipo de cultivos de lechugas son los de mayor resistencia a las plagas y los que en mayor medida se siembran en la localidad de estudio que corresponde a la ciudad de Quito, Ecuador, las variables a medir y controlar son la temperatura que en la germinación se requiere que oscile entre 14 y 20°C durante el día, mientras que en la noche se requiere que la temperatura sea de 5-8°C, durante la fase de brote se requieren temperaturas en torno a los 12°C por el día y de 3-5°C por la noche, ya que este tipo de variedad de lechuga no soporta temperaturas elevadas y como máxima temperatura debe ser de 30°C y como mínima -6°C.

La altitud es otro factor importante, es propicio su cultivo desde el nivel del mar hasta los 2500 m.s.n.m, además la humedad relativa debe oscilar entre el 60% y los 80%, debido a que el sistema radicular es muy reducido este tipo de lechuga es muy sensible a la falta de humedad y a la sequía. Otro factor a tener en cuenta es la humedad del suelo (VWC %), las lechugas en general necesitan que el VWC del suelo oscila entre 20% y 35% es decir necesita suelos relativamente húmedos y fundamentalmente requiere de riegos ligeros y frecuentes para mantener la humedad del suelo y la humedad relativa (Gebol et al., 2012).

Las variables que en este sistema se monitorean y controlan son, la temperatura, la humedad relativa y la humedad del suelo, el monitoreo y control de estas variables es fundamental para este tipo de cultivo, debido a que estas modifican el ciclo de crecimiento y desarrollo del sistema de cultivo implementado, todo este proceso se realizará en un lapso de 70 a 90 días y en este periodo se iniciará con la fase de siembra hasta llegar a la fase de cosecha.



Esta investigación se desarrolló en dos etapas, en la primera etapa se realizó una revisión bibliográfica junto en el diseño e implementación de la estructura del invernadero y se implementó parcialmente el desarrollo del sistema de control del sistema de invernadero, en la segunda etapa se concluyó con el desarrollo del sistema de control y se introdujo una especie de prueba, en la figura 1 se muestra de la implementación de la estructura.

Figura 1. Implementación de la estructura del invernadero. (Mantilla et al, 2024, Moreno, 2024).



Nota: La implementación de esta estructura del invernadero se realizó en la primera etapa de este proyecto de investigación, se optó por realizar la estructura tipo castillo, debido a que es de las estructuras más usuales que se encuentran dentro de la localidad de estudio.

Variables climáticas

Entiéndase por variables climáticas a todas aquellas variables que afectan al clima de un sistema, en este sentido se tiene que estas variables están representadas principalmente por la temperatura, humedad, precipitación, viento, presión, dentro del sistema automatizado que es un sistema cerrado sólo se consideraron las variables de la temperatura y humedad, debido a que el viento o la precipitación no afecta directamente al sistema interno por este motivo se las descarto.

El planeta tierra en los últimos años ha experimentado una variación de su clima, este cambio ha sido principalmente propulsado por la actividad humana, algunos de los efectos del cambio climático es el incremento de la temperatura global, la temperatura es una representación de la energía cinética que tiene una masa o un sistema, la temperatura es un factor físico importante en el desarrollo de las plantas, a mayor temperatura los estomas de las plantas tienden a cerrarse con lo cual se limita la captación del CO₂, mismo que provoca una reducción de la fotosíntesis, los estomas reaccionan a las altas temperaturas como mecanismo de defensa para evitar la pérdida de humedad.

De la misma manera, la humedad relativa se define como la cantidad de agua que puede ser contenida por el aire a una temperatura dada, y la humedad del suelo se refiere al cantidad de agua absorbida en los poros de la tierra, estas dos variables son fundamentales en el desarrollo de las plantas, una baja humedad propicia una reducción de la fotosíntesis debido al cierre de los estomas y la deshidratación de la vegetación, por el contrario una alta humedad limita la capacidad de absorción de los nutrientes y propicia la aparición de hongos, moho y la aparición de ciertas plagas que generan un efecto adverso en los sistemas de cultivos (Reyes et al., 2023).

El sistema de control tiene la función de modificar las variables de temperatura y humedad dentro del sistema, este sistema tiene como actuadores el ventilador, un sistema de calefacción y como sistema de control un controlador lógico programable que está vinculado a una interfaz HMI. Para la realización de sistema de control del sistema de funcionamiento del invernadero es controlado por un PLC logo de la versión más actual la que nos permite tener mayor control de las variables, además de tener un control en la nube en el cual se puede visualizar las variables y mantener su control en tiempo real de las variables a analizar, en figura 2 se detallan algunos de los elementos usados en el invernadero automatizado.

Figura 2. Materiales usados junto con sus especificaciones técnicas (Mantilla et al., 2024).

Equipo	Variable de medición	Condiciones experimentales	Rango	Sensibilidad
Sensor de Temperatura	Temperatura	Ambiente controlado dentro del invernadero	-20°C a 50°C	±0.5°C
Sensor de Humedad	Humedad relativa	Ambiente controlado dentro del invernadero	0% a 100%	±2% RH
Sistema de Ventilación	Flujo de aire	Dependiente del diseño del invernadero	Ajustable hasta 5000 m³/h	±10% del flujo nominal
PLC	Control de procesos	Todo el sistema de control automatizado	Variable según el sistema	±0.1% de la señal
HMI	Interfaz de usuario	Supervisión y control de los sistemas	Variable según la interfaz	±1% de la lectura
Contactador	Control de corriente	Control de encendido/apagado de equipos	Variable según el equipo	±2% de la corriente nominal
Breaker	Protección contra sobre carga y cortocircuitos	Protección de circuitos eléctricos	Variable según el equipo	±5% de la protección nominal
Fusible	Protección contra sobrecarga	Protección de circuitos eléctricos	Variable según el equipo	±5% de la protección nominal
Paro de Emergencia	Seguridad y parada de emergencia	Desconexión rápida en caso de emergencia	Interruptor de emergencia	±2% de la posición nominal
Pulsador	Control manual	Activación de funciones específicas	Variable según la aplicación	±1% de la presión nominal
Luz Piloto	Indicador de estado	Señalización del estado del equipo	Variable según la aplicación	±2% de la intensidad nominal
Cable 18 AWG	Transmisión de señales eléctricas	Conexiones entre componentes eléctricos	-	-

Nota: En la figura de los elementos se detallan los elementos esenciales para la puesta en marcha del sistema de control y automatización, en este apartado no se detallan materiales extras como los elementos de calefacción, cables de interconexión y el sistema de relés.

Elementos del sistema de monitoreo

En el sistema de monitoreo de variables se usaron sensores de temperatura con rangos entre los 0°C y los 125°C, sensor de humedad relativa (HR) con rangos de medición de 0-100% de HR, sensor de humedad del suelo que me permite medir en forma analógica la humedad debajo de la superficie con valores que van desde 0-1023, donde 0 representaría estar sumergido en agua, 400- 600 un suelo ligeramente húmedo y valores de 800-1023 un suelo totalmente seco o estar realizando mediciones en aire, algunos de estos elementos se presentan en la figura 3.

Figura 3. Sensor de temperatura, humedad, humedad del suelo, PLC, HMI del Sistema



Mantilla et al., 2024

La implementación del sistema automático de invernadero se completó satisfactoriamente y se realizó un proceso de test de funcionamiento para verificar el correcto funcionamiento de los subsistemas, en la figura 4, se muestra el sistema de control junto con los sistemas de potencia.

Figura 4. Sistema de control y potencia



Autoría propia

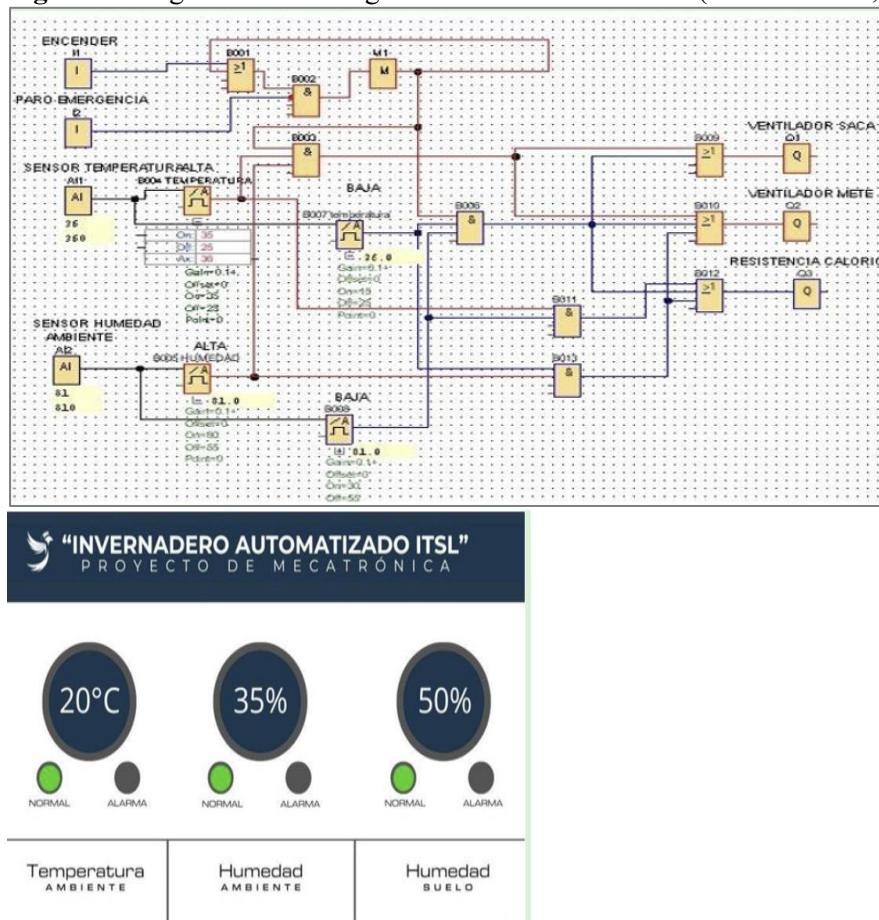
Nota: dentro del gabinete de control se aprecia los elementos propios de este sistema como los sistemas de protección, los sistemas de alimentación de 24V DC, los relés de potencia, el PLC, canaleta ranurada y el HMI.

Sistema de control

Para la implementación del sistema de control se estableció como parámetros a controlar las variables de temperatura en los rangos de 5°C hasta los 25 °C, humedad relativa de 60% hasta el 80% y humedad

del suelo entre 20% y 30%, para lograr esto se implementó la programación en bloques dentro del PLC, en la figura 5 se presenta esta programación en conjunto con la visualización en el HMI.

Figura 5. Programación e integración de HMI del sistema (Mantilla et al., 2024, Moreno, 2024)



Nota: la programación del sistema automatizado tiene como principio realizar mediciones de las variables ambientales dentro del sistema y mediante criterios establecidos se procede a la activación de los actuadores ya sea del sistema de ventilación o del sistema de calefacción

Introducción del cultivo de prueba

En la introducción de una especie de prueba se recurrió a la inserción de lechugas de la variedad Great Lakes, la cual es de las especies más populares en la agricultura local, estas especies fueron introducidas en dos sistemas el primer Sistema es un Sistema tradicional en el cual el cultivo se encuentra fuera de un invernadero y está a merced de los factores climáticos y biológicos del entorno y otro cultivo de lechugas en el invernadero automatizado, en los dos casos se realizó la siembra en el mismo día y con el mismo sustrato, en la figura 6 se observa el proceso de trasplante de las plántulas hacia los sistemas de estudio.

Figura 6. Proceso de introducción de lechugas en los dos sistemas



Autoría propia

Nota: La especie de prueba fue trasplantada desde otro punto en el cual se cultivaron las semillas por aproximadamente 21 días, tiempo en el cual las semillas germinaron y se obtuvieron las suficientes raíces y follaje que brindarían a la especie de prueba la resiliencia para su adaptación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los primeros apartados de este trabajo se detallan las variables a monitorear tanto en el sistema tradicional y en el invernadero automatizado, esta monitorización se realizó con el sistema de monitoreo y control que se integró dentro del invernadero y en el sistema de cultivo tradicional se realizó la medición con instrumentación de campo, previo a la recopilación de datos se realizó una prueba de funcionamiento del dispositivo auxiliar para verificar que las lecturas realizadas en los dos sistemas sean semejantes y que sus lecturas no sean tan alejadas de los valores reales. Los datos obtenidos en el sistema se procedieron a tabularlos dentro de una hoja de cálculo con el fin de posteriormente procesar esta información, en la tabla 1 se muestra el formato de tabla usado en el proceso de tabulación.

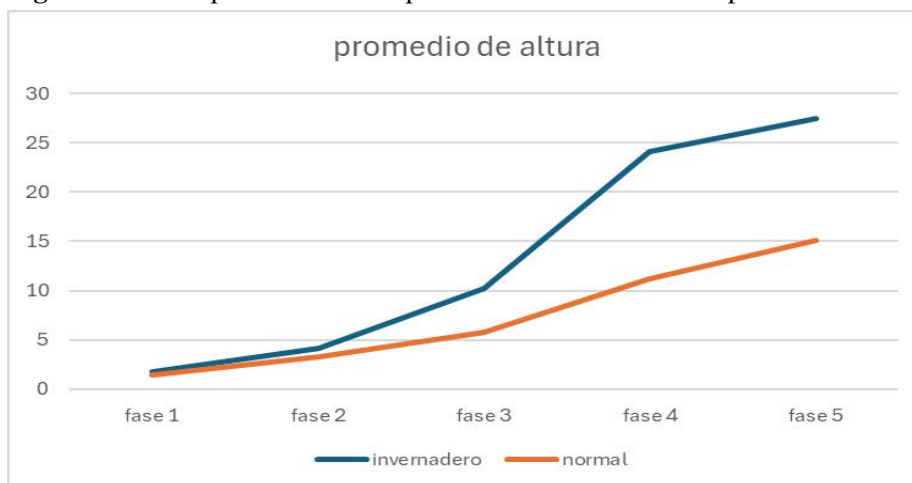
Tabla 1. Tabulación de los datos del sistema tradicional (Autoría propia)

N° registro	Asistente	Cargo	Fecha	datos humedad suelo (%WVC)	datos humedad ambiente (%hr)	Temperatura ambiente (°C)
31	Santiago Cuascota	profesor-investigador	10/3/2025	63,25	82,18	16,8
32	Moreno David	profesor-investigador	10/3/2025	63,26	81,6	17,89
33	Santiago Cuascota	profesor-investigador	11/3/2025	66,24	83,15	16,24
34	Moreno David	profesor-investigador	11/3/2025	65,8	82,91	17,28
35	Santiago Cuascota	profesor-investigador	12/3/2025	60,23	84,36	16,19
36	Moreno David	profesor-investigador	12/3/2025	62,3	82,46	18,24
37	Santiago Cuascota	profesor-investigado	13/3/2025	63,25	82,18	16,8
38	Moreno David	profesor-investigado	13/3/2025	62,07	85,01	18,02
39	Santiago Cuascota	profesor-investigado	14/3/2025	63,57	83,12	17,02
40	Santiago Cuascota	profesor-investigado	14/3/2025	62,17	85,67	18,59

Nota: Esta tabla es una representación simplificada de los datos del sistema tradicional, con respecto al sistema automatizado, se manejó el mismo patrón de tabulación, la tabulación de los datos se realizaba el mismo día y a la misma hora, siguiendo un orden de temperatura y posteriormente las humedades.

Otra variable adicional que se comparó durante las diferentes fases del cultivo fue la altura promedio de las plantas que se encuentran dentro del sistema tradicional y en el cultivo del invernadero automatizado. En la figura 7 se muestra la gráfica de desarrollo de la especie de prueba, en la etapa de germinación de nuestros dos sistemas de comparación se aprecia una diferencia aproximada de 0.35 cm entre las plantas de los dos sistemas, en la etapa de plántula se aprecia una diferencia de 0.81 cm, en la etapa de establecimiento la diferencia es de 4.3 cm, en la etapa de desarrollo la diferencia de altura es de 12.8 cm y en la última fase la diferencia fue de 12.4 cm entre las plantas del invernadero y en las plantas del sistema tradicional. El diseño del invernadero ayudó a maximizar el crecimiento de las plantas para mantener niveles de humedad adecuados, donde se minimizan problemas como hongos y además se minimiza el uso de pesticidas.

Figura 7. Altura promedio de las plantas en las diferentes etapas del cultivo



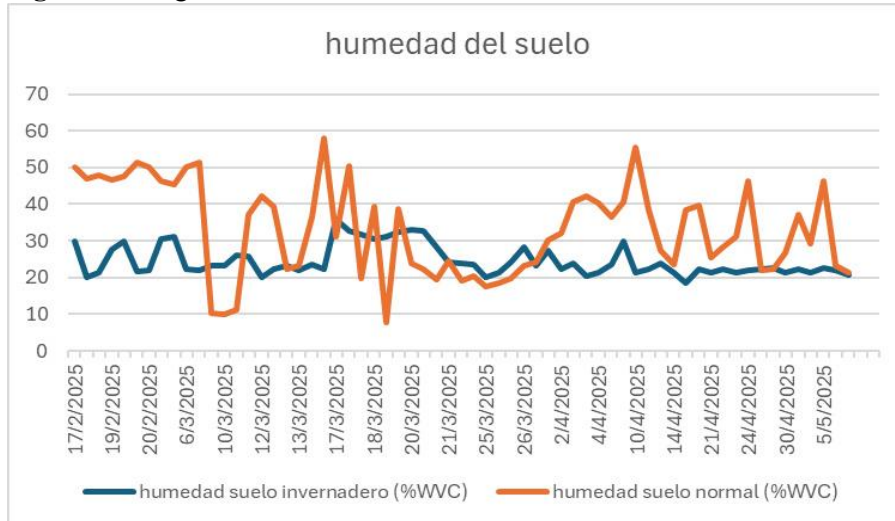
Autoría propia

Nota: En la fase de trasplante de las especies se registró los datos de altura de las plantas y no existían diferencias significativas en cuanto a esta, los datos fueron obtenidos mediante medición directa usando un flexómetro que tenía una resolución de 1 milímetro. la medición se realizaba el mismo día y de preferencia en horas de baja intensidad luminosa y térmica, de esta forma se minimiza la obtención de datos erróneos por estrés térmico o hídrico.

Variables ambientales

En nuestro proyecto de investigación se monitoreo algunas de las variables fundamentales que afectan al clima óptimo de desarrollo de la especie de prueba, en los dos sistemas implementados se realizó el monitoreo de estas variables, mostrándonos patrones de comportamiento distintivos entre los sistemas, en la figura 8 se presenta el gráfico comparativo del comportamiento de la humedad del suelo, en donde se aprecia fluctuaciones de 7.9-57.85% WVC en el sistema tradicional y 18.63-35.91% WVC en el invernadero automatizado.

Figura 8. Imagen de los datos de la humedad del suelo en los sistemas de cultivo

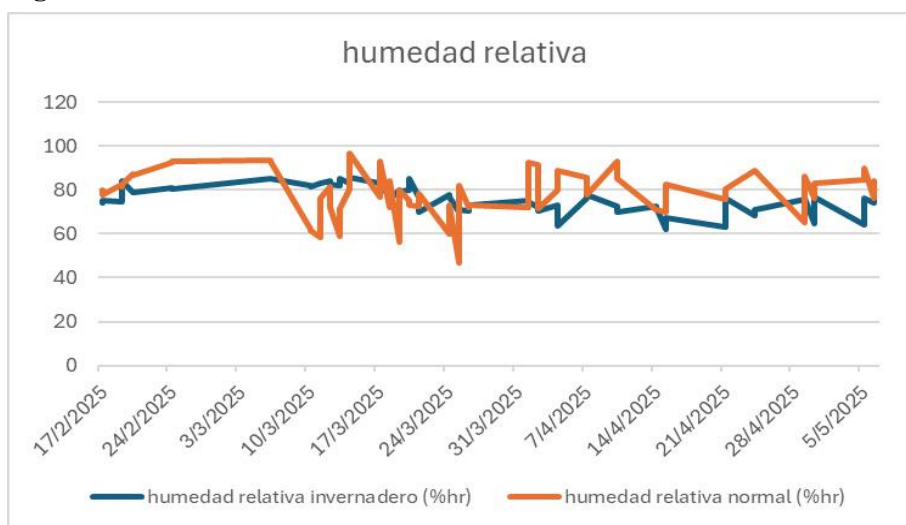


Autoría propia

Nota: En la figura 8 se presenta la gráfica obtenida de los datos de la humedad del suelo, misma que está presente en todo sistema de cultivo vegetal, en la línea naranja se muestra como es el comportamiento de la humedad en el sistema tradicional con rango de valores que oscilan entre 7.9 y 57.85 de %WVC, mientras que la línea azul representa la humedad del suelo en el invernadero mismo que varía entre los valores de 18.63 y 35.91 %WVC.

Siguiendo la misma línea, en la figura 9 se muestra una gráfica representativa con respecto a los datos obtenidos sobre el comportamiento de la humedad relativa en los dos sistemas, en la línea naranja se muestra variaciones de la humedad relativa con rango de valores de 47% al 96.58% que corresponden al sistema de cultivo tradicional, mientras que en la línea azul se muestran los datos de la humedad relativa con valores comprendidos de 61.8% al 85.67% que corresponden al sistema de cultivo dentro del invernadero automatizado.

Figura 9. Gráfica de los datos de la humedad relativa en los sistemas

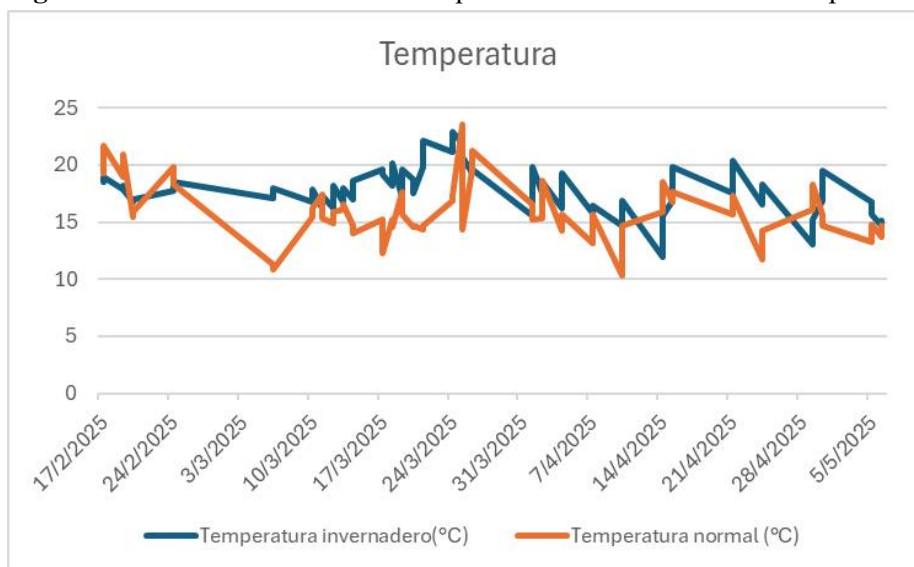


Autoría propia

Nota: En la figura 9 se presentan los datos de la humedad relativa a la cual están expuestos los sistemas de cultivo y que es fundamental para su correcto desarrollo.

En la misma línea, otra de las variables que se llevó un registro, es la variable de la temperatura, esta variable es de las más importantes pues afecta directamente a varios procesos biológicos y físicos del sistema, en la figura 10 se presenta la gráfica del comportamiento de la temperatura en los dos sistemas implementados, con la línea azul se presentan los datos obtenidos del invernadero automatizado con rangos de valores de 11.89 °C al 22.89 °C y con la línea naranja se presentan los datos del sistema tradicional en los cuales se aprecian rangos que van desde los 10.31°C hasta los 23°C.

Figura 10. Gráfica de los datos correspondientes a los datos de la temperatura



Autoría propia

Nota: En la figura 10, se presentan los datos de la temperatura a la cual están expuestos los sistemas de cultivo y que es fundamental para su correcto desarrollo.

Los resultados obtenidos por esta investigación realizada mediante la comparación entre la plantación tradicional de lechuga y la producción de la misma en un invernadero automatizado muestran diferencias significativas en términos de eficiencia, calidad del cultivo y consumo de recursos, donde la automatización permite un control preciso de variables como temperatura, humedad, lo que optimiza el crecimiento de la lechuga y reduce el desperdicio de los recursos sin afectaciones de las condiciones climáticas y temporadas de producción, tal y como muestra la figura 7 en donde se comparan las alturas del sistema de cultivo de los dos sistemas y se observa que la diferencia de altura se hace más pronunciada a medida que se pasa de una fase a otra, alcanzando su pico de diferencia de aproximadamente 12.5 cm en la fase de desarrollo, estos datos concuerdan con los presentados por Chicaiza (2024) en el cual se evidenció resultados similares para los dos sistemas de cultivos con especies como el pepinillo con un aumento de longitud de 17% en la fase de final y el tomate con un

15% en la fase final. En contraste, el método tradicional depende de condiciones climáticas externas, lo que puede afectar la producción y generar variabilidad en la calidad del producto tal y como se muestra en la figura 8, 9 y 10 en donde las variables climáticas dentro del sistema de invernadero presentan una variación moderada en comparación con las variables climáticas en el sistema de cultivo tradicional. Según los estudios realizados por Caiche (2024) en “Diseño de sistema de invernadero automatizado para forraje verde hidropónico de maíz *Zea mays* implementando el programa Arduino”, en conjunto con otras desarrollado por Martínez & Corral (2023) en “Diseño Conceptual y Experimental de un Invernadero Automatizado de Cultivo de Plantas de uso Doméstico”, nos ayudan a corroborar la investigación, donde estos estudios previos nos ayudaron a demostrar que los invernaderos automatizados pueden incrementar la productividad agrícola, controlando las variables esenciales como temperatura y humedad como se muestra en las Figuras 8, Figuras 9, Figuras 10, además de reducir el impacto ambiental mediante el uso eficiente de recursos. Investigaciones sobre el uso de inteligencia artificial en invernaderos han resaltado su potencial para optimizar el crecimiento de cultivos y minimizar pérdidas. En el contexto ecuatoriano, proyectos similares han explorado la implementación de sistemas automatizados con energía renovable para mejorar la sostenibilidad de la producción agrícola mencionadas por Marrero (2021) en la investigación “Control de humedad y consumo de agua en un invernadero”, donde para maximizar los resultados de los productos agrícolas conlleva la mejora de un invernadero automatizado a un invernadero con IoT o con inteligencia artificial el cual analiza la predicción y optimización de recursos con algoritmos de Inteligencia Artificial donde se analiza patrones climáticos y de crecimiento para mejorar la producción mostrada en la investigación García et al. (2024). Los resultados respaldan la hipótesis de que la automatización mejora la eficiencia de ciertos cultivos en comparación con métodos tradicionales en el cual los sistemas de cultivo se encuentran a la intemperie a merced de las variaciones climatológicas, adicional se confirma que el control de variables ambientales dentro del invernadero permite una producción más estable, predecible y más orgánica ya que se minimizó el uso de pesticidas. Además, los hallazgos responden a las preguntas de investigación sobre la viabilidad técnica de implementar esta tecnología, demostrando que es una alternativa prometedora para mejorar los tiempos de producción agrícola en la región. Desde una visión teórica, este estudio contribuye al conocimiento sobre la implementación de tecnologías agrícolas



avanzadas en regiones específicas como Pichincha, indicando que la implementación de especies de plantas de porte bajo es factible utilizando este método para maximizar la producción y cuidado del medio ambiente de acuerdo con las dimensiones de nuestro sistema. La automatización en invernaderos se alinea con tendencias globales de agricultura 4.0, donde el uso de sensores y sistemas inteligentes mejora la productividad agrícola. Es decir, la adopción de invernaderos automatizados puede representar una solución viable para agricultores locales, permitiéndoles aumentar la producción y reducir costos operativos a largo plazo.

CONCLUSIONES

En conclusión, la investigación y aplicación de tecnologías avanzadas en invernaderos, junto con la selección adecuada de cultivos, pueden impulsar la rentabilidad y sostenibilidad en la producción agrícola, marcando un camino hacia un futuro más eficiente y responsable en el uso de recursos naturales. Se analizaron los costos y beneficios económicos asociados con la implementación de invernaderos automatizados. Esto incluye la inversión inicial, los costos operativos, el retorno de inversión. También considera los posibles ahorros en recursos y el incremento en la productividad, por ende, se evalúa cómo estos invernaderos automatizados pueden contribuir a la sostenibilidad ambiental. Esto implica analizar el uso eficiente de recursos (agua, energía, nutrientes), la reducción de residuos y emisiones, y el impacto en la biodiversidad local. La meta es asegurar que la implementación de estas tecnologías sea amigable con el medio ambiente. La automatización permite un control preciso de variables como temperatura, humedad y riego, mejorando la producción agrícola y reduciendo el desperdicio de agua y fertilizantes en comparación con métodos tradicionales. Donde la implementación de sensores y sistemas automatizados en el invernadero generó una producción de lechuga más uniforme y resistente a factores externos, garantizando una mejor calidad para el consumo ya que no fue necesaria el uso de pesticidas para el control de plagas. La investigación sugiere que la automatización no solo es beneficiosa para la producción de lechuga, sino que también puede aplicarse a cualquier producto agrícola, optimizando su crecimiento, calidad y productividad mediante el control y monitoreo de las variables climáticas en un invernadero automatizado.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilera, A., & Ricaurte, C. A. (2024). Análisis del efecto de la implementación de tecnología IoT en cultivos de *Lactuca sativa* (lechuga) en invernaderos en Colombia para promover la agricultura sostenible [Tesis de pregrado, UNAD]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/64651>
- Caiche Reyes, J. D. (2024). Diseño de sistema de invernadero automatizado para forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) implementando el programa Arduino [Trabajo de titulación, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10896>
- Chicaiza, D. (2024). Automatización de un invernadero localizado en la región andina del Ecuador [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15600>
- Cisneros, Y., & Mosquera, M. (2019). Diseño de un prototipo de invernadero automatizado con cultivo de pimiento y aplicación en ambiente web para el control y monitoreo de la producción [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. <https://repositorio.ug.edu.ec/items/92708eda-d315-47a2-ace6-846b461d63ca>
- García Torres, I. A., Castillo León, R. E., Navas Espín, W. R., & Veintimilla Andrade, J. G. (2024). El uso de la inteligencia artificial en un invernadero. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(4), 910–930. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.12331
- García, J. (2023). Aplicación de inteligencia artificial sobre infraestructuras IoT para automatizar y optimizar los procesos de agricultura intensiva en invernaderos [Tesis doctoral, Universidad Católica San Antonio de Murcia]. <https://portalinvestigacion.upct.es/documentos/6525925c9e961d4eea4972ef?lang=es>
- Gebol, R. Y., Alvarado, R. J. W., Leveau, G., Peláez, R., & Chappa, S. (2012). Dosis de bioestimulante tetrahormonal en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Great Lakes 659 bajo condiciones agroecológicas del distrito de Lamas [Tesis de ingeniería agronómica, Universidad Nacional de San Martín]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/16759e2d-bd09-422b-8a7e-2fc4d56672a7/content>



- Guerrero, L. (2023). *HydroLab*: Un módulo para la investigación de estrategias de fertirrigación en hidroponía [Tesis de pregrado, Universidad de los Andes]. <https://hdl.handle.net/1992/68153>
- Herrera, J. (2022). Estudio de viabilidad de invernaderos de alto rendimiento productivo con atmósfera enriquecida en CO₂ [Tesis de posgrado, Universidad Pontificia Comillas]. <http://hdl.handle.net/11531/64240>
- Lobo, G. (2023). Proyecto de una explotación de 9120 m² de producción de hortalizas en invernadero en Chapinería (Comunidad de Madrid) [Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/76555/>
- Mantilla, A., Rodríguez, J. J., Ruiz Lindoño, J. D., & Saca Ronquillo, K. J. (2024). Elaboración técnica de un invernadero automatizado para la agricultura de Pichincha [Tesis de pregrado, Instituto Superior Tecnológico Libertad]. <https://drive.google.com/file/d/1KtRnqVSTygmAse9KscSmSsz1hBmhuufJ/view>
- Marrero Ramírez, S., González Palau, I., León Segovia, M. A., & Suárez Vinuesa, R. E. (2021). Control of humidity and water consumption in a greenhouse. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 25(109). <https://doi.org/10.47460/uct.v25i109.449>
- Martínez Pérez, S., & Corral Pérez, I. (2023). Diseño conceptual y experimental de un invernadero automatizado de cultivo de plantas de uso doméstico [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Cataluña]. <https://hdl.handle.net/2117/396484>
- Moreno, D. (2024, 20 de septiembre). Estudio de acondicionamiento de invernadero automatizado con enfoque sustentable para la agricultura de Pichincha. En Primer Congreso Internacional de Innovación, Tecnología, Patrimonio y Sostenibilidad O.D.S. Universidad de Israel, Quito, Ecuador. https://superarse.edu.ec/CONGRESO_ITPS_ODS
- Reyes Santamaría, M. I., Toledo Cabrera, D., López Santiago, A. I., Pacheco Trejo, J., Saucedo García, M., & Madariaga Navarrete, A. (2023). Impacto del cambio climático sobre la fotosíntesis, fotorrespiración y respiración de plantas C3. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 9(Especial), 6–11. <https://doi.org/10.29057/icap.v9iEspecial.8764>



Rodríguez, A. (2024). Crecimiento cero: una posible solución al agotamiento de recursos y los problemas ambientales. *El Semestre de las Especializaciones*, 5(2), 99–146.

https://depfe.unam.mx/especializaciones/revista/5-2-2024/03_EAE_1_Matta-Rodriguez.pdf

Sánchez, L., Cárdenas, M., Murillo, J., & Chacón Franco, V. (2025). El internet de las cosas en la agricultura. *Polo del Conocimiento*, 10(2), 766–778. <https://doi.org/10.23857/pc.v10i2.8914>

