



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Industrial, Sistemas e Informática
Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

Construcción de un invernadero automatizado para la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

Autores

Maikel Josue Pernia Barron
Ruben Augusto Cuenca Huacho

Asesor

Ing. Ernesto Diaz Ronceros



ERNESTO DIAZ RONCEROS
INGENIERO ELECTRONICO
Reg. CIP N° 197965

Huacho – Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN
LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SISTEMAS E INFORMÁTICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Maikel Josue Pernia Barron	48997756	26/03/2026
Ruben Augusto Cuenca Huacho	73593049	26/03/2026
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Ernesto Díaz Ronceros	46943961	https://orcid.org/0000-0002-2841-7014
DATOS DE LOS MIEMROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Edwin Ivan Farro Pacifico	15735619	https://orcid.org/0000-0002-8735-8851
Eddy Ivan Quispe Soto	15760232	https://orcid.org/0000-0001-9050-0938
Jorge Alberto Del Carpio Salinas	10271988	https://orcid.org/0000-0002-2687-4764

Cuenca Huacho Ruben Augusto Pernia Barron Maik...

Construcción de un invernadero automatizado para la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotec...

 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FIISI - PREGRADO 2026
 Unidad de Investigación de la FIISI - 2026
 Facultad de Ingeniería Industrial, Sistemas e Informática

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3478989506

Fecha de entrega

11 feb 2026, 11:14 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

11 feb 2026, 11:20 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

Borrador_Tesis_CUENCA_PERNIA.pdf

Tamaño del archivo

1.3 MB

82 páginas

12.194 palabras

77.999 caracteres



Página 2 de 89 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3478989506



18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

“Con infinita gratitud y amor, dedicamos este trabajo a nuestra familia, quienes han sido fuente de fortaleza e inspiración durante todo este proceso. A nuestros padres, por su apoyo incondicional, sus sacrificios y por inculcarnos los valores de la perseverancia y la dedicación. A nuestros hermanos, por su constante motivación y por ser un ejemplo de esfuerzo y determinación.

Dedico también este logro a nuestros amigos cercanos, que con sus palabras de ánimo y su compañía hicieron que este camino fuera más llevadero.

Finalmente, dedicamos esta investigación a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a nuestra formación y al desarrollo de este trabajo. Que este esfuerzo sea una muestra de gratitud y una motivación para quienes buscan alcanzar sus sueños”

Maikel Josue Pernia Barron

Ruben Augusto Cuenca Huacho

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo expresar mi más sincera gratitud a la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión y a la Facultad de Ingeniería Industrial, Sistemas e Informática, que me brindaron las herramientas académicas y el entorno necesario para llevar a cabo esta investigación.

Agradezco especialmente a mi asesor, por su dedicación, paciencia y orientación técnica, que han sido fundamentales para superar los desafíos y lograr los objetivos de este trabajo.

Agradezco a mis compañeros y colegas, quienes con su apoyo, retroalimentación y camaradería hicieron de este proceso una experiencia enriquecedora. Sus ideas y colaboración fueron vitales para enfrentar los retos de esta investigación.

Mi más profundo agradecimiento a mi pareja por todo el apoyo brindado, a mi familia, especialmente a mi madre, hermana, tía y cuñado, por su amor incondicional, su apoyo constante y su sacrificio para que pudiera alcanzar mis metas. Ellos han sido mi fuente de inspiración y fortaleza en todo momento.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas e instituciones que, de manera directa o indirecta, contribuyeron al desarrollo de este proyecto. Sin su ayuda y confianza, este logro no habría sido posible.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO	6
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I.....	16
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	17
1.2. Formulación del problema	19
1.2.1. Problema general	19
1.2.2. Problemas específicos.....	19
1.3. Objetivos de la investigación	20
1.3.1. Objetivo general.....	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
1.4. Justificación de la investigación	20
1.5. Delimitaciones del estudio	22
1.6. Viabilidad del estudio	23
CAPÍTULO II	24
2.1. Antecedentes de la investigación.....	25
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	25
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	29
2.2. Bases teóricas	31

2.2.1.	Invernadero	31
2.2.2.	Formas de Invernadero	32
2.2.3.	Monitorización de condiciones climáticas.....	35
2.2.4.	Automatización de actuadores	36
2.2.5.	Interactividad con el sistema.....	36
2.2.6.	Temperatura interior	37
2.2.7.	Humedad del aire	38
2.2.8.	Frecuencia de riego	39
2.2.9.	Duración de periodos luminosos.....	40
2.2.10.	Intuitividad de la interfaz de usuario	41
2.2.11.	Accesibilidad	41
2.2.12.	Tasa de supervivencia	41
2.2.13.	Desarrollo morfológico	42
2.2.14.	Desarrollo radicular	43
2.2.15.	Porcentaje de plántulas sobrevivientes	43
2.2.16.	Altura en cm.....	44
2.2.17.	Numero de hojas	44
2.2.18.	Longitud de las raíces	45
2.2.19.	Densidad y estructura de las raíces	45
2.3.	Bases filosóficas	46
2.4.	Definición de términos básicos	48
2.5.	Hipótesis de investigación.....	49
2.5.1.	Hipótesis general.....	49
2.5.2.	Hipótesis específicas	49
2.4	Operacionalización de las variables	49

2.6.	Operacionalización de las variables	50
	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	51
3.1.	Diseño metodológico.....	52
3.1.1.	Tipo de investigación.....	52
3.1.2.	Nivel de Investigación	52
3.1.3.	Diseño	52
3.1.4.	Enfoque.....	53
3.2.	Población y muestra	53
3.2.1.	Población	53
3.2.2.	Muestra.....	53
3.3.	Técnicas de recolección de datos.....	54
	CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	55
4.1	Análisis de resultados.....	56
4.2	Contrastación de hipótesis.....	67
Hipótesis General.....		67
Hipótesis específica 1		67
Hipótesis específica 2		68
Hipótesis específica 3		68
	CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	69
5.1	Discusión de los resultados	70

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
6.1 Conclusiones	72
6.2 Recomendaciones	73
REFERENCIAS.....	74
7.1. Fuentes bibliográficas	75
7.2. Fuentes hemerográficas	77
7.3. Fuentes electrónicas	77
ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. INVERNADERO TÚNEL INDIVIDUAL O APAREADO.....	31
FIGURA 2. INVERNADERO CAPILLA.....	32
FIGURA 3. INVERNADERO TIPO SIERRA.....	32
FIGURA 4. INVERNADERO TIPO TECHUMBRE CURVA.....	33
FIGURA 5. INVERNADERO TIPO PARRAL.....	33
FIGURA 6. INVERNADERO TIPO VENLO (HOLANDÉS).....	34
FIGURA 7. ESP32.....	56
FIGURA 8. SENSOR DE INTENSIDAD LUMÍNICA BH1750.....	57
FIGURA 9. BOMBA PRESIÓN.....	57
FIGURA 10. MÓDULO DHT12.....	58
FIGURA 11. RELAYS.....	58
FIGURA 12. COOLER.....	59
FIGURA 13. SENSOR DE HUMEDAD DEL SUELO CAPACITIVO.....	60
FIGURA 14. MÓDULO RTC DS3231.....	60
FIGURA 15. PANTALLA I2C 16X2 CON MODULO I2C.....	61
FIGURA 16. BUZZER ACTIVO.....	61
FIGURA 17. ESQUEMÁTICO Y PCB LAYAOUT.....	62
FIGURA 18. ALERTA DE TEMPERATURA.....	63
FIGURA 19. ALERTA DE HUMEDAD.....	64
FIGURA 20. ALERTA DE FALLO DE ENERGÍA.....	64

RESUMEN

Título de la investigación: Construcción de un invernadero automatizado la para la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023.

Objetivo: Determinar la construcción de un invernadero automatizado y su influencia en la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023.

Metodología: “La presente investigación, pertenece al tipo de investigación aplicada, el nivel de investigación es explicativo, diseño experimental y enfoque cuantitativo”. Hipótesis: Construir un invernadero automatizado influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa. Población: todas las plántulas de fresa que podrían ser aclimatadas en un invernadero, ya sea tradicional o automatizado. Dado que el invernadero automatizado es una propuesta novedosa, se estima que esta población es amplia y se encuentra distribuida en diferentes localidades de producción agrícola. Instrumento: ficha de recolección de datos. Resultados: Como parte de los resultados el invernadero automatizado mejoró la tasa de supervivencia de las plántulas y favoreció un desarrollo radicular y morfológico superior en comparación con métodos tradicionales, además, la interfaz desarrollada permitió un manejo eficiente y accesible del sistema. Conclusión: De acuerdo a los datos obtenidos se puede afirmar que construir un invernadero automatizado si influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa, demostrando ser una solución eficiente y sostenible

Palabras Claves: Invernadero automatizado, plántulas de fresa, aclimatación, automatización.

ABSTRACT

Research title: Construction of an automated greenhouse for the acclimatization of strawberry seedlings in the biotechnology laboratory - UNJFCS, 2023. Objective: To determine the construction of an automated greenhouse and its influence on the acclimatization of strawberry seedlings in the biotechnology laboratory - UNJFCS, 2023. Methodology: "The present research belongs to the type of applied research, the level of research is explanatory, experimental design and quantitative approach". Hypothesis: Building an automated greenhouse positively influences the acclimatization of strawberry seedlings. Population: all strawberry seedlings that could be acclimatized in a greenhouse, whether traditional or automated. Since the automated greenhouse is a novel proposal, it is estimated that this population is large and distributed in different agricultural production locations. Instrument: data collection form. Results: As part of the results, the automated greenhouse improved the survival rate of seedlings and favored a higher root and morphological development compared to traditional methods. In addition, the developed interface allowed an efficient and accessible management of the system. Conclusion: According to the data obtained, it can be stated that building an automated greenhouse positively influences the acclimatization of strawberry seedlings, proving to be an efficient and sustainable solution.

Keywords: Automated greenhouse, strawberry seedlings, acclimatization, automation.

INTRODUCCION

El cultivo de fresa es una actividad de gran relevancia a nivel mundial debido a su impacto económico y su aporte nutricional. Las fresas no solo se destacan por su sabor y versatilidad culinaria, sino también por sus beneficios para la salud, lo que las convierte en un cultivo prioritario en diversas regiones. Sin embargo, la transición de las plántulas de fresa desde las condiciones controladas del cultivo in vitro hasta el campo abierto presenta retos significativos, especialmente en la etapa de aclimatación, donde la tasa de supervivencia puede verse considerablemente afectada por factores ambientales adversos.

En este contexto, los invernaderos han demostrado ser herramientas valiosas para proporcionar un entorno controlado que favorezca el desarrollo inicial de las plántulas. No obstante, los sistemas tradicionales de invernaderos presentan limitaciones, como la dependencia de la gestión manual y la variabilidad en el control de las condiciones internas, lo que puede afectar la eficiencia del proceso de aclimatación. La incorporación de tecnologías de automatización en los invernaderos representa una solución innovadora para superar estos desafíos, permitiendo un monitoreo y control más preciso de las variables ambientales.

El presente trabajo de investigación titulado “Construcción de un invernadero automatizado para la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023” busca abordar esta problemática mediante el diseño, implementación y evaluación de un sistema automatizado que optimice las condiciones de aclimatación. Este sistema incorpora sensores y actuadores para monitorizar y ajustar variables críticas como temperatura, humedad, riego y luminosidad, asegurando un ambiente óptimo para el desarrollo de las plántulas.

La relevancia de este estudio radica en su potencial para mejorar las tasas de supervivencia de las plántulas de fresa, reduciendo las pérdidas durante la etapa de aclimatación y aumentando la eficiencia productiva.

Con esta investigación, se espera generar conocimiento útil y aplicable en el campo de la biotecnología agrícola, así como contribuir al desarrollo de tecnologías avanzadas que fortalezcan la producción de cultivos esenciales como la fresa. Además, los hallazgos podrán ser replicados y adaptados a otros cultivos, ampliando su impacto en el sector agrícola.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Descripción de la realidad problemática

La fresa (*Fragaria x ananassa*), ampliamente apreciada por su sabor y versatilidad en diversas preparaciones culinarias, no solo destaca en la gastronomía, sino que también tiene un impacto significativo en la salud humana debido a sus propiedades nutricionales (Giampieri et al., 2012). El cultivo y consumo de fresas se han posicionado como una práctica agrícola de importancia mundial, impulsando la exploración constante de métodos innovadores para mejorar su producción y potenciar su valor nutricional.

En el ámbito del cultivo, una técnica esencial es la del cultivo *in vitro*, que se ha establecido como un método potente para la propagación de plantas, incluidas las plántulas de fresa (Pierik Rudolf, 1997). Sin embargo, la transición de estas plántulas del ambiente *in vitro* a condiciones de campo presenta desafíos, en particular durante la etapa de aclimatación (Pierik et al., 2007). Los invernaderos tradicionales han sido la respuesta principal a estos desafíos, proporcionando un ambiente controlado que favorece el proceso de aclimatación (Jones, 2013).

Dentro de este marco, es importante considerar que mientras los invernaderos tradicionales han proporcionado un ambiente controlado, este control ha estado históricamente limitado por la capacidad humana para monitorizar y responder a las condiciones cambiantes. Esta limitación puede tener consecuencias directas en la tasa

de supervivencia y el desarrollo general de las plántulas. La automatización, por otro lado, brinda la oportunidad de realizar ajustes en tiempo real, garantizando condiciones óptimas en todo momento (López, 2005).

De acuerdo con un estudio publicado en el *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*, los invernaderos con sistemas de automatización avanzada demuestran una clara ventaja en comparación con los invernaderos tradicionales. Estos sistemas, que representan un paso hacia las fábricas de plantas y la agricultura urbana, tienen la capacidad de mejorar significativamente la tasa de supervivencia de las plantas. Además, gracias a un control ambiental más preciso, los invernaderos automatizados pueden reducir el tiempo que las plantas requieren para alcanzar su madurez (Shamshiri et al., 2018).

El avance hacia invernaderos automatizados no es simplemente una cuestión de eficiencia o conveniencia. Se trata de abordar las crecientes demandas de una población mundial en aumento y de responder a los desafíos que presenta el cambio climático. La automatización, al mejorar la precisión en la gestión del clima, el riego y la luz, puede aumentar significativamente la productividad y la sostenibilidad de los cultivos en invernadero (Aznar-Sánchez et al., 2020).

Sin embargo, a pesar de los claros beneficios y del impulso global hacia la adopción de invernaderos automatizados, aún existen lagunas en nuestra comprensión de cómo implementar y optimizar estas tecnologías, especialmente en relación con cultivos específicos como la fresa. Por ello, investigar la construcción y optimización de un invernadero automatizado para la aclimatación de plántulas de fresa se presenta no solo

como una necesidad sino como una oportunidad para liderar en el campo de la biotecnología agrícola.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera construir un invernadero automatizado influye en la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿De qué manera la monitorización de condiciones climáticas influye en la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023?
2. ¿De qué manera la automatización de actuadores influye en la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023?
3. ¿De qué manera la interactividad con el sistema influye en la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar la construcción de un invernadero automatizado y su influencia en la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Determinar la monitorización de condiciones climáticas y su influencia en la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023.
2. Determinar la automatización de actuadores y su influencia en la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023.
3. Determinar la interactividad con el sistema y su influencia en la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023.

1.4. Justificación de la investigación

La producción de fresas es una actividad agrícola vital que no sólo beneficia la economía global, sino que también satisface la creciente demanda del mercado (Giampieri et al., 2012). Asegurar un inicio robusto y saludable para las plántulas de fresa es esencial para garantizar una producción exitosa. Dado que la aclimatación es una etapa crítica en la vida de una plántula, especialmente aquellas derivadas del cultivo in vitro (Pierik et al., 2007), es crucial tener un sistema que optimice este proceso.

Los invernaderos tradicionales han desempeñado durante mucho tiempo un papel importante en este proceso de aclimatación. Sin embargo, la gestión manual de estos espacios puede ser inconsistente y está sujeta a errores humanos, lo que puede afectar negativamente la tasa de supervivencia y el desarrollo general de las plántulas (Aznar-Sánchez et al., 2020).

En la era de la tecnología y la digitalización, la adopción de invernaderos automatizados en la agricultura promete superar muchos de estos desafíos. Con la capacidad de monitorear constantemente y ajustar las condiciones climáticas, regular el riego y optimizar la intensidad lumínica, estos invernaderos tienen el potencial de mejorar significativamente la aclimatación de las plántulas (Jones, 2013).

Además, la inclusión de sistemas interactivos en los invernaderos automatizados no solo facilita la gestión y monitoreo por parte de los investigadores y agricultores, sino que también permite adaptaciones rápidas a cambios inesperados en las condiciones ambientales o en las necesidades de las plántulas.

Llevando a cabo esta investigación en el laboratorio de biotecnología de la UNJFSC, no sólo se proporcionará una solución adaptada a las condiciones y desafíos específicos de la región, sino que también se contribuirá al corpus de conocimiento en biotecnología agrícola. Esta investigación puede allanar el camino para futuras innovaciones en el campo, ofreciendo a los productores de fresa herramientas más avanzadas y precisas para mejorar la producción.

Por todo ello, la construcción y evaluación de un invernadero automatizado para la aclimatación de plántulas de fresa es no sólo relevante, sino también esencial para el avance y optimización de la producción de fresas en el mundo moderno.

1.5. Delimitaciones del estudio

a. Delimitación temporal

La investigación se llevará a cabo en un marco temporal definido, comprendiendo específicamente los años 2023 y primeros meses del 2024.

b. Delimitación espacial

El estudio se llevará a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión (UNJFSC). Aunque situada en la provincia de Huaura, la investigación se circunscribirá específicamente al ambiente controlado y equipado de este laboratorio. La delimitación espacial se justifica en base a la infraestructura especializada y las capacidades tecnológicas que el laboratorio brinda, lo que permitirá una evaluación precisa. Se considerarán además los grupos de individuos asociados con la UNJFSC y el laboratorio que podrían beneficiarse directamente de los resultados de esta investigación.

c. Delimitación cuantitativa

El estudio se centrará en la evaluación de invernaderos automatizados y su impacto en la aclimatación de plántulas de fresa. Se considerarán variables como la tasa de supervivencia, el desarrollo morfológico y fisiológico de las plántulas y la eficiencia en la gestión del ambiente dentro del invernadero. Se tomarán

muestras y datos durante la duración del estudio para cuantificar los beneficios y eficiencias de un invernadero automatizado en comparación con técnicas tradicionales.

d. Delimitación conceptual

Esta investigación se centrará en la aplicación de tecnologías avanzadas, específicamente la automatización, en el cultivo de fresas en invernaderos. Se explorarán conceptos relacionados con la aclimatación de plántulas, especialmente aquellas derivadas de cultivos in vitro. Además, se considerarán las diferencias entre invernaderos tradicionales y aquellos que integran sistemas automatizados. Se abordarán temáticas como el monitoreo climático, la gestión de riego y la optimización lumínica dentro del invernadero. A través de esta delimitación, se busca generar una comprensión profunda sobre cómo la tecnología y la digitalización pueden mejorar y optimizar el proceso de aclimatación y, en última instancia, la producción de fresas.

1.6. Viabilidad del estudio

La investigación cuenta con viabilidad debido a que se cuenta con el presupuesto autofinanciado por el investigador, además de existir suficientes referencias teóricas y fuente de información que permite respaldar el presente trabajo de investigación, se cuenta con el asesoramiento de docentes especializados para resolver consultas y poder llevar a cabo de forma exitosa la comprensión de los distintos conceptos que implica esta investigación formal, así como distintas herramientas informáticas con inteligencia artificial que facilita la traducción de idioma extranjero permitiendo explorar fuentes de todo el mundo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Herrera, (2020) en su tesis de pregrado titulada: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE INVERNADERO URBANO AUTOMATIZADO DE TRES METROS CÚBICOS QUE PERMITA CONTROLAR LA HUMEDAD RELATIVA POR MEDIO DE MICROCONTROLADORES PARA GENERAR UNA PRODUCCIÓN CONSTANTE DE ALIMENTOS ORGÁNICOS” planteó como objetivo general, automatizar un invernadero urbano de aproximadamente tres metros cúbicos para controlar la humedad relativa por medio de microcontroladores y generar una producción constante de alimentos orgánicos. La metodología que empleó fue de tipo explicativa con un enfoque cuantitativo. La población estuvo conformada por plantas de tomates cherry ananassa y la muestra se obtuvo mediante un muestreo aleatorio estratificado teniendo finalmente la cantidad de 120 individuos. De los resultados se obtiene que la implementación del sistema de microcontroladores permitió una regulación efectiva de la humedad relativa en el invernadero, lo que a su vez contribuyó a un incremento en la producción y calidad de los tomates cherry. Finalmente, el autor concluye que la automatización de invernaderos urbanos a través de microcontroladores es una estrategia viable y eficaz para mejorar la producción y calidad de los alimentos orgánicos en espacios urbanos.

Criollo, (2022) en su tesis de pregrado titulada: “Comparación del desarrollo del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*), entre dos tipos de invernadero (tradicional y automatizado), desde el trasplante hasta la primera cosecha” planteó como objetivo general, comparar el desarrollo del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) hasta el estado de la maduración del fruto entre los dos tipos de invernaderos (tradicional y automatizado). La metodología que empleó fue de tipo experimental con un enfoque cuantitativo. La población estuvo conformada por plantas de fresa de la variedad *Fragaria x ananassa* y la muestra se obtuvo mediante un muestreo aleatorio estratificado teniendo finalmente la cantidad de 120 individuos para la investigación. De los resultados se obtiene que el invernadero automatizado propicia un mejor desarrollo y rendimiento de las plantas de fresa en comparación con el invernadero tradicional, mostrando frutos más grandes y de mejor calidad. Finalmente, el autor concluye que la automatización de invernaderos es esencial para maximizar el rendimiento y la calidad de los cultivos de fresa en condiciones controladas.

Anaya Solano y Ojeda Field, (2020) en su tesis de pregrado titulada: “Elaboración del prototipo de un sistema de control de variables atmosféricas automatizado para el cultivo de plantas bajo invernadero en ambiente indoor en la Región Caribe” planteó como objetivo general, construir un prototipo funcional de un invernadero automatizado de bajo costo, capaz de controlar variables de temperatura, iluminación y humedad en suelo. La metodología que empleó fue de tipo experimental con un enfoque cuantitativo. La población estuvo conformada por plantas tropicales aptas para el cultivo bajo invernadero y la muestra se obtuvo mediante un muestreo aleatorio estratificado teniendo finalmente la cantidad de 50

individuos para la investigación. De los resultados se obtiene que el invernadero automatizado fue efectivo en mantener las condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas, registrando una mejora del 25% en su desarrollo en comparación con condiciones no controladas. Finalmente, el autor concluye que el uso de sistemas automatizados es crucial para maximizar el rendimiento de cultivos en invernaderos en la Región Caribe, permitiendo un ahorro en recursos y garantizando la calidad y salud de las plantas.

Salazar, (2020) en su tesis de postgrado titulada: “DISEÑO DE UN SISTEMA INTELIGENTE PARA EL CONTROL AUTOMATIZADO DE INVERNADEROS” planteó como objetivo general, diseñar e implementar un sistema modular inteligente, para controlar de forma eficiente un invernadero, el cual será alimentado con celdas fotovoltaicas, así como también por medio de una aplicación que funcione en dispositivos móviles, se podrán visualizar las mediciones que se obtengan de los sensores para monitorear y garantizar el buen funcionamiento del sistema. La metodología que empleó fue de tipo experimental con un enfoque cuantitativo. De los resultados se obtiene que el sistema modular mejoró la eficiencia energética del invernadero en un 35%, y que la aplicación móvil permitió un monitoreo en tiempo real de las condiciones ambientales dentro del invernadero, facilitando la toma de decisiones y ajustes necesarios para optimizar el crecimiento de las plantas. Además, la integración de celdas fotovoltaicas proporcionó una reducción en el consumo de energía proveniente de la red eléctrica, haciendo al sistema más sostenible y reduciendo los costos operativos. Finalmente, el autor concluye que la implementación de sistemas inteligentes en invernaderos no solo optimiza las condiciones de crecimiento de las

plantas, sino que también contribuye a una agricultura más sostenible y eficiente, siendo esta una solución viable para enfrentar los desafíos actuales de la producción agrícola.

Ticona, (2019) en su tesis de pregrado titulada: “EVALUACION DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DE MANEJO CLIMÁTICO EN RELACIÓN AL MANEJO TRADICIONAL DE INVERNADERO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL COTA COTA” planteó como objetivo general, evaluar un sistema de control automatizado de manejo microclimático en relación al manejo tradicional de invernadero en el Centro Experimental Cota Cota en La Paz, Bolivia. La metodología que empleó fue de tipo experimental con un enfoque cuantitativo. La población estuvo conformada dos tipos de invernaderos: el móvil Pachamama y el invernadero Convencional y la muestra se obtuvo mediante observaciones directas y mediciones en ambos invernaderos, teniendo finalmente la cantidad dos invernaderos para la investigación. De los resultados se obtiene que el invernadero móvil Pachamama bajo un control microclimático automático logró mejores condiciones para el cultivo en comparación con el invernadero Convencional con manejo manual, mostrando una reducción en el tiempo de cosecha y un incremento en el peso de la raíz. Finalmente, el autor concluye que el manejo automático del microclima es beneficioso para el cultivo, destacando la importancia de un diseño adecuado de ventilación y un equilibrio de luz para el crecimiento óptimo del cultivo.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Díaz Alama et al., (2019) en su tesis de pregrado titulada: “PROTOTIPO DE SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PAR AUN INVERNADERO” planteó como objetivo general, diseñar y desarrollar un prototipo de sistema de monitoreo y control de temperatura y humedad en un invernadero para un mayor rendimiento en la producción, de cultivos, implementando las plataformas Android, Arduino. La metodología que empleó fue de tipo experimental con un enfoque cuantitativo. De los resultados se obtiene que el sistema ha permitido simular con eficacia las condiciones ambientales del interior de un invernadero, garantizando así el desarrollo óptimo de los cultivos según los parámetros establecidos. Esto es evidenciado por la capacidad del sistema de monitorear en tiempo real las condiciones mediante un dispositivo móvil. Finalmente, el autor concluye que la implementación de sistemas automatizados de control microclimático en invernaderos es esencial para optimizar las condiciones de crecimiento de los cultivos y, por consiguiente, aumentar su rendimiento.

Reátegui Arrivasplata, (2019) en su tesis de pregrado titulada: “Desarrollo de un sistema de monitoreo y control micro climático en apoyo al cultivo de arándanos en invernadero en la ciudad de Caraz, Departamento de Áncash” planteó como objetivo general, desarrollar un sistema de monitoreo y control micro climático de temperatura y humedad en apoyo al cultivo de arándanos en invernaderos en la ciudad de Caraz, departamento de Ancash. La metodología que empleó fue de tipo experimental con un enfoque cuantitativo. De los resultados se obtiene que la implementación del sistema mejoró las condiciones microclimáticas, resultando en un aumento del 20% en la producción de arándanos. Finalmente, el autor concluye

que la automatización y monitoreo en tiempo real de las condiciones microclimáticas son esenciales para optimizar el rendimiento de los cultivos en invernaderos.

Utus Crispín, (2021) en su tesis de pregrado titulada: “Diseño del sistema de control de temperatura de un invernadero para el cultivo de arándanos en el anexo de Cullpa - El Tambo, 2021” planteó como objetivo general, diseñar un sistema de control de temperatura de un invernadero en el cultivo de arándanos en el anexo de Cullpa – El Tambo, 2021. La metodología que empleó fue de tipo descriptivo con un enfoque cuantitativo. De los resultados se obtiene que el sistema diseñado permite una regulación efectiva de la temperatura a través de una combinación de sensores y actuadores, y que dicho control resulta en una notable disminución del consumo eléctrico. Finalmente, el autor concluye que es esencial contar con un sistema de monitoreo efectivo, como una pantalla LCD, para garantizar el funcionamiento óptimo y eficiente de los dispositivos y actuadores del invernadero en el contexto del cultivo de arándanos.

Amiquero Ñahui, (2019) en su tesis de pregrado titulada: “Creación del centro piloto de producción hortícola en condiciones de clima controlado automatizado y sistema de riego en Jatumpampa - Vinchos - Ayacucho” planteó como objetivo general proponer la creación del centro piloto de producción hortícola en condiciones de clima controlado automatizado y sistema de riego en Jatumpampa-Vinchos-Ayacucho. La metodología que empleó fue de tipo descriptivo con un enfoque cuantitativo. De los resultados se obtiene que se diseñó un sistema de riego por aspersión en 9.9 hectáreas, se capacitó a la comunidad en diversos cultivos y se

estableció un coste total de inversión del proyecto en S/. 3,234,950.22 soles, demostrando ser rentable desde varios puntos de vista. Finalmente, el autor concluye que el proyecto es viable, tiene impactos positivos en la región y debería ejecutarse para garantizar la seguridad alimentaria y mejorar el desarrollo socioeconómico de la comunidad de Jatumpampa.

Gomez Pacci, (2019) en su tesis de pregrado titulada: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROLADOR DIFUSO UTILIZANDO ARDUINO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE UN MINI INVERNADERO DE ROSAS” planteó como objetivo general, Diseñar e implementar un mini invernadero automatizado de bajo costo para la producción de rosas. La metodología que empleó fue de tipo experimental con un enfoque cuantitativo. De los resultados se obtiene que fue posible diseñar el control de las principales variables del invernadero y comprobar la respuesta del controlador difuso mediante simulación virtual con LabView y que, mediante una unidad de hardware con arduino, se pudo monitorear las variables propuestas a un bajo costo. Finalmente, el autor concluye que el sistema de control difuso es una ventaja coste-efectiva para aquellos interesados en la industria de la agricultura.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Invernadero

Goodland, (2018), se refiere a un invernadero es una construcción, ya sea de metal o plástico, que se reviste con materiales que permiten el paso de la luz con el propósito de maximizar la iluminación interna. Dentro de este espacio

especializado, se crean condiciones controladas o microclimas, que tienen como objetivo ofrecer a las plantas un entorno óptimo para su crecimiento. Esta optimización resulta en una elevada producción vegetal en un período reducido y a un coste menor.

2.2.2. Formas de Invernadero

(Norma Mexicana para el Diseño y Construcción de Invernaderos, 2023)

señala:

“Las características y formas del invernadero estarán dispuestas por las condiciones climáticas: temperatura, luz solar, lluvia, aire y orografía.

- Invernadero túnel: Es una estructura semicircular o en forma de arco. Suelen ser de fácil montaje y desmontaje, y generalmente están cubiertos con plástico. Son ideales para zonas con vientos moderados y suelen ser más económicos que otros tipos.

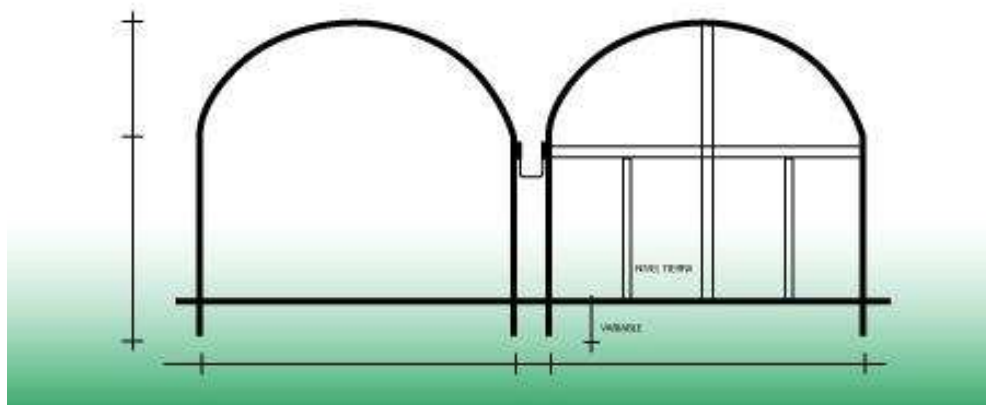


Figura 1. Invernadero túnel individual o apareado.

- Invernadero capilla: Tiene una forma tradicional de tejado a dos aguas. Ofrece una buena resistencia al viento y es adecuado para regiones donde hay precipitaciones regulares.



Figura 2. Invernadero capilla.

- Invernaderos en diente de sierra: Su diseño está caracterizado por una serie de techos inclinados que forman una especie de "dientes de sierra". Esta estructura permite una buena ventilación y un mejor control del calor interno.

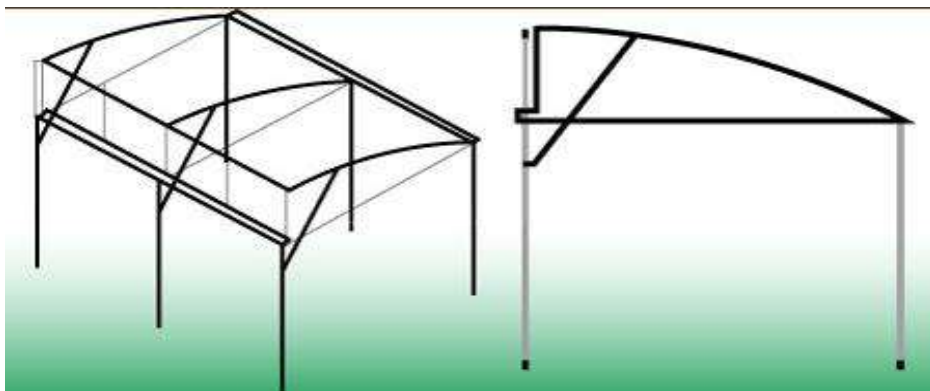


Figura 3. Invernadero tipo sierra.

- Invernadero con techumbre curva: Como su nombre indica, tiene un techo curvo que puede ser beneficioso para repeler el viento y maximizar la exposición al sol desde diferentes ángulos.



Figura 4. Invernadero tipo techumbre curva.

- Invernadero tipo “parral” o “almeriense”: Muy popular en regiones como Almería, España. Su diseño es plano y se sitúa a baja altura. Suele ser muy amplio y es ideal para cultivos como el tomate.



Figura 5. Invernadero tipo parral.

- Invernadero tipo Venlo: Originario de los Países Bajos, este diseño tiene techos a dos aguas con ventanas que permiten una excelente ventilación. Está especialmente diseñado para optimizar el espacio y suele ser usado en zonas donde la agricultura en invernadero es intensiva.



Figura 6. Invernadero tipo Venlo (holandés).

2.2.3. Monitorización de condiciones climáticas

La esencia de un invernadero automatizado radica en su capacidad para monitorear constantemente las condiciones ambientales. Cada factor climático, desde la temperatura hasta la humedad, puede influir profundamente en la salud y el desarrollo de las plantas, por lo que su monitoreo preciso es esencial para optimizar la producción (Jones, 2017).

Los datos recopilados no sólo sirven para entender el ambiente actual, sino que permiten adaptar las condiciones internas del invernadero en respuesta a cambios externos, garantizando así condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas. Una ventaja adicional de la monitorización en invernaderos automatizados

es su capacidad para integrarse con otros sistemas. Por ejemplo, si un sensor detecta un nivel de humedad bajo, puede activar automáticamente un sistema de riego, asegurando que las plantas reciban agua de manera oportuna.

2.2.4. Automatización de actuadores

(Smith y Turner, 2018), refiere que a medida que la tecnología avanza, la precisión en las intervenciones se convierte en una necesidad. Los actuadores automáticos permiten ejecutar acciones específicas, como el riego, en función de los datos recopilados, garantizando así un cuidado más individualizado y eficiente de las plantas.

Con actuadores automatizados, los invernaderos pueden responder en tiempo real a cambios detectados por sensores, si un sensor detecta un incremento en la temperatura, un actuador puede, por ejemplo, accionar sistemas de sombreado para proteger a las plantas. Pueden ser programados para optimizar el uso de recursos, como el agua o la energía, contribuyendo a una producción más sostenible y reduciendo costes; así al eliminar la intervención humana constantes, se minimiza el riesgo de errores que puedan perjudicar a las plantas o a la producción. Los actuadores actúan basándose en datos precisos, asegurando una acción adecuada.

2.2.5. Interactividad con el sistema

El papel del humano no se desvanece con la automatización. La interacción eficiente entre el usuario y el sistema es crucial para tomar decisiones informadas y

realizar ajustes según sea necesario, lo que pone de manifiesto la importancia de interfaces intuitivas y sistemas accesibles (Smith y Turner, 2018).

Los sistemas modernos priorizan interfaces amigables, permitiendo que incluso aquellos con poco conocimiento técnico puedan comprender y actuar sobre los datos presentados, garantizando así un uso más generalizado de la tecnología, además al contar con alertas y notificaciones emergentes envían notificaciones en tiempo real a los usuarios sobre situaciones que requieren atención inmediata, ya sea un cambio en las condiciones climáticas o un mal funcionamiento del equipo. La interactividad con el invernadero puede ampliarse al integrarse con otros sistemas, como los de gestión agrícola o aplicaciones de logística, creando un ecosistema interconectado

La interactividad moderna no está limitada por la proximidad física. Los agricultores y técnicos pueden acceder y controlar sus invernaderos desde dispositivos móviles o computadoras en cualquier lugar del mundo, garantizando una supervisión constante. La tendencia es hacia sistemas donde la interactividad involucre múltiples usuarios, desde técnicos hasta biólogos, trabajando de manera colaborativa y en tiempo real para garantizar el éxito de las cosechas.

2.2.6. Temperatura interior

La temperatura es uno de los factores más críticos en el desarrollo de las plantas. Un control preciso de la temperatura interior asegura que las plantas se

desarrollen en un rango óptimo, promoviendo su crecimiento y previniendo estrés térmico (Smith y Turner, 2018).

La temperatura afecta directamente la tasa de fotosíntesis, la respiración y la transpiración en las plantas. Estos procesos bioquímicos tienen rangos de temperatura óptima para su funcionamiento. Una temperatura muy alta o baja puede inhibir estos procesos, afectando el crecimiento y desarrollo de las plantas. La gestión de la temperatura interior puede ser activa, mediante sistemas de calefacción o enfriamiento, o pasiva, utilizando técnicas de diseño y construcción que aprovechen la radiación solar y la ventilación natural.

La gestión adecuada de la temperatura puede ser una estrategia eficaz para controlar plagas y enfermedades. Algunos patógenos y plagas son sensibles a rangos específicos de temperatura, por lo que mantener el invernadero fuera de estos rangos puede reducir su incidencia; en situaciones donde la temperatura puede ser extrema, como olas de calor o heladas, es crucial contar con estrategias para mitigar estos eventos, ya sea mediante sistemas de enfriamiento evaporativo, calefacción o mallas sombreadoras.

2.2.7. Humedad del aire

La humedad relativa del aire en el interior de un invernadero es un componente vital que tiene una influencia directa en múltiples aspectos del crecimiento de las plantas. El control adecuado de la humedad no solo puede

optimizar el desarrollo de las plantas, sino que también puede reducir la incidencia de enfermedades y mejorar la eficiencia en el uso del agua (Jones, 2017).

Una alta humedad relativa puede favorecer la aparición de enfermedades fúngicas y bacterianas, ya que proporciona el ambiente adecuado para el desarrollo de patógenos. Es esencial monitorizar y controlar la humedad para reducir este riesgo, los modernos invernaderos utilizan sistemas de humidificación y deshumidificación, que permiten ajustar la humedad relativa del aire de acuerdo con las necesidades específicas de los cultivos.

2.2.8. Frecuencia de riego

El riego es una de las intervenciones agrícolas más críticas, especialmente en un entorno de invernadero, donde la gestión del agua se vuelve esencial para garantizar un crecimiento óptimo de las plantas. La frecuencia de riego, es decir, la regularidad con la que se suministra agua a las plantas, desempeña un papel fundamental en la salud y productividad de los cultivos (Wilson, 2019).

La elección de la frecuencia de riego adecuada depende de la interacción entre las propiedades del suelo, las características de las plantas y las demandas de agua del cultivo. Los suelos con alta capacidad de retención de agua pueden requerir un riego menos frecuente que los suelos arenosos. Los sistemas de riego automatizados, como el riego por goteo, permiten un control preciso sobre la

frecuencia y cantidad de agua suministrada, minimizando el desperdicio y garantizando que las plantas reciban el agua que necesitan.

2.2.9. Duración de periodos luminosos

La luz es uno de los factores más influyentes en el crecimiento de las plantas. Su intensidad, calidad y duración pueden afectar no solo la fotosíntesis, sino también la morfología, floración y ritmos circadianos de las plantas. En un invernadero automatizado, la capacidad de controlar la duración de los periodos luminosos (fotoperiodo) es esencial para optimizar el desarrollo de las plantas (Smith y Turner, 2018).

- **Importancia del fotoperiodo:** Las plantas poseen mecanismos internos que les permiten percibir la duración del día y de la noche. Esta percepción es fundamental para muchos procesos biológicos, como la inducción floral y la entrada en dormancia.
- **Plantas de día corto y día largo:** Dependiendo de la especie, algunas plantas requieren días largos para florecer, mientras que otras necesitan días cortos. Controlar la duración de los periodos luminosos en un invernadero permite manipular estas respuestas y optimizar la producción.
- **Iluminación artificial:** En regiones con días cortos o durante estaciones con menos luz, la iluminación artificial puede ser necesaria para extender la duración del periodo luminoso y asegurar un crecimiento óptimo de las plantas.

- Calidad de la luz: No solo la duración, sino también la calidad de la luz (espectro) puede influir en el desarrollo de las plantas. Diferentes longitudes de onda pueden promover la germinación, el crecimiento vegetativo o la floración.

2.2.10. Intuitividad de la interfaz de usuario

Para garantizar una operación efectiva, es esencial que las interfaces de los sistemas automatizados sean intuitivas, permitiendo al usuario realizar ajustes y tomar decisiones basadas en la información presentada (Jones, 2017).

Una interfaz intuitiva reduce significativamente la curva de aprendizaje para los usuarios, promoviendo una adopción más rápida y eficiente de la tecnología. Esta característica es crucial para garantizar que los operarios puedan realizar ajustes precisos y responder a cambios en tiempo real.

2.2.11. Accesibilidad

La accesibilidad se refiere a la capacidad de un sistema, dispositivo o servicio de ser utilizado con eficacia por una amplia gama de personas. Los sistemas deben ser accesibles para permitir intervenciones rápidas y eficientes, ya sea de forma remota o in situ, asegurando así el funcionamiento óptimo del invernadero (Smith y Turner, 2018).

2.2.12. Tasa de supervivencia

La tasa de supervivencia se refiere al porcentaje de individuos de una población o muestra que persisten o sobreviven durante un período de tiempo específico, una

alta tasa de supervivencia es testimonio de una aclimatación exitosa. Las plantas aclimatadas adecuadamente pueden resistir variaciones en las condiciones, asegurando así su crecimiento y desarrollo continuos (Wilson, 2019).

La supervivencia de las plántulas es un indicador crítico de éxito en la horticultura y agricultura. Una alta tasa de supervivencia sugiere que las condiciones y cuidados proporcionados son adecuados para el desarrollo saludable de las plántulas. Las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad y la luz, influyen directamente en la tasa de supervivencia. Es crucial monitorear y ajustar estos parámetros para garantizar un entorno propicio para el crecimiento.

2.2.13. Desarrollo morfológico

se refiere al crecimiento y formación de estructuras anatómicas en las plantas. La morfología de una planta es un reflejo de su salud y de su capacidad para adaptarse a las condiciones cambiantes. Observar cambios en la altura y en el número de hojas puede proporcionar datos valiosos sobre la eficacia del proceso de aclimatación (Wilson, 2019).

Observar el desarrollo morfológico es crucial durante la aclimatación de plántulas. Un desarrollo saludable sugiere que las plantas están adaptándose bien a sus nuevos ambientes, mientras que anomalías pueden indicar estrés o condiciones adversas. Algunas características morfológicas a considerar incluyen la altura de la planta, el número y tamaño de hojas, la formación de flores y frutos, y la estructura radicular. Estos parámetros ofrecen una vista holística del desarrollo de la planta.

2.2.14. Desarrollo radicular

El desarrollo radicular, o crecimiento de la raíz, es una faceta fundamental de la salud y el rendimiento de una planta. Las raíces son fundamentales para la supervivencia de las plantas, ya que son las encargadas de absorber agua y nutrientes. Un desarrollo radicular robusto indica una planta bien establecida y adaptada a su entorno (Smith y Turner, 2018).

Las raíces no sólo proporcionan anclaje físico a las plantas en el suelo, sino que también juegan un papel crucial en la absorción de agua y nutrientes, y en la interacción con microorganismos del suelo. Un sistema radicular saludable y bien desarrollado es a menudo indicativo de una planta en buen estado general. Las plantas con raíces dañadas o subdesarrolladas pueden tener dificultades para absorber suficientes nutrientes o agua, lo que afecta su salud y rendimiento.

2.2.15. Porcentaje de plántulas sobrevivientes

Este indicador es un testimonio directo de la efectividad del proceso de aclimatación. Un porcentaje elevado sugiere una transición exitosa desde condiciones controladas a variables (Jones, 2017).

En cualquier proceso de propagación de plantas, la tasa de supervivencia de las plántulas es fundamental. Un alto porcentaje indica prácticas adecuadas, mientras que un bajo porcentaje puede sugerir problemas en el proceso, un bajo porcentaje de plántulas sobrevivientes puede servir como una señal para revisar y ajustar las prácticas de propagación y cuidado. En experimentos agrícolas, el porcentaje de

plántulas sobrevivientes sirve para evaluar la eficacia de nuevas técnicas o productos.

2.2.16. Altura en cm

La altura de las plántulas es un indicador claro del desarrollo vertical y vigor de las mismas. Este parámetro se utiliza ampliamente en estudios agronómicos para evaluar el desempeño de plántulas bajo diferentes condiciones y tratamientos, una buena aclimatación a menudo resulta en un crecimiento sostenido y uniforme (Smith y Turner, 2018).

Una altura adecuada indica un desarrollo saludable de la plántula, mientras que un crecimiento atrofiado puede señalar problemas nutricionales, de riego o de iluminación, diferentes variedades de una misma especie pueden tener diferentes tasas de crecimiento y alturas máximas alcanzables, lo que es determinado en gran medida por factores genéticos. Para ciertos cultivos, la altura puede ser un factor determinante para el trasplante o la cosecha, especialmente en especies donde la altura es un factor de calidad comercial.

Es crucial usar herramientas precisas y estandarizadas, como reglas o cintas métricas, y asegurar que la medición se realice desde la base hasta el ápice de la planta.

2.2.17. Numero de hojas

El número de hojas es un criterio fundamental para evaluar el desarrollo vegetativo de una plántula. Esta métrica refleja tanto la salud general de la planta

joven como su potencial para llevar a cabo la fotosíntesis, proceso esencial para su crecimiento y supervivencia (Wilson, 2019).

- Significado biológico: Las hojas son el principal órgano de la planta responsable de la fotosíntesis, por lo que su número puede reflejar la capacidad de la planta para generar energía y crecer.
- Relación con otros indicadores: A menudo, un mayor número de hojas puede correlacionarse con un mejor desarrollo radicular y un mayor crecimiento general de la planta.
- Indicador de salud: En ciertos contextos, un descenso abrupto en el número de hojas puede indicar problemas de salud en la planta, como enfermedades, plagas o estrés hídrico

2.2.18. Longitud de las raíces

La longitud de las raíces es una métrica esencial que puede brindar información sobre la salud, resistencia y capacidad de absorción de agua y nutrientes de una planta. El sistema radicular actúa como un ancla para la planta y juega un papel crucial en su alimentación, siendo la longitud de las raíces un indicativo directo de su capacidad para acceder a recursos subterráneos (Jones, 2017).

2.2.19. Densidad y estructura de las raíces

El estudio de la densidad y estructura de las raíces es crucial para comprender la salud general y el bienestar de las plantas. Estos dos parámetros radiculares reflejan cómo una planta interactúa con el suelo, absorbe agua y nutrientes, y responde a diversos factores ambientales. La densidad radicular se refiere a la

cantidad de raíces presentes en un volumen específico de suelo, mientras que la estructura radicular se relaciona con la organización y patrón de crecimiento de estas raíces (Smith y Turner, 2018).

Diversos factores, desde la composición del suelo hasta la disponibilidad de agua, influyen en la densidad y estructura radicular. Es vital para las plantas desarrollar una estructura radicular robusta en condiciones adversas para garantizar la supervivencia, las técnicas avanzadas de imagen, como la tomografía de suelo, permiten una visualización detallada de la estructura y densidad de las raíces sin perturbar el suelo. A través de técnicas biotecnológicas, se busca desarrollar plantas con sistemas radiculares optimizados para condiciones específicas, lo que puede ser esencial en áreas con suelos problemáticos o escasez de agua.

La densidad y estructura radicular pueden cambiar en respuesta al estrés, ya sea por sequía, salinidad o patógenos.

2.3. Bases filosóficas

2.3.1. Empirismo

Este enfoque sostiene que el conocimiento proviene principalmente de la experiencia sensorial. En el contexto de un invernadero automatizado, el monitoreo y ajuste basado en datos empíricos, como la temperatura y la humedad, es esencial para optimizar las condiciones de crecimiento de las plántulas de fresa (Hume, 2011).

2.3.2. Racionalismo

Subyace la idea de que la razón es una fuente primaria de conocimiento. En la automatización del invernadero, el uso de lógicas y algoritmos para ajustar automáticamente las condiciones ambientales según las necesidades de las plántulas es un reflejo de este enfoque (Kenny, 2018).

2.3.3. Positivismo

Este paradigma sostiene que la ciencia es la única forma de obtener conocimiento verdadero. Al aplicar técnicas científicas y métodos cuantitativos en el diseño y evaluación del invernadero, se busca obtener datos objetivos y replicables sobre el crecimiento y aclimatación de las plántulas (Morrison, 2015).

2.3.4. Constructivismo

A medida que se investiga y se ajusta el diseño del invernadero, se construye un entendimiento basado en la experiencia y la interacción con el sistema. El aprendizaje y adaptación constantes del sistema reflejan este enfoque (Windelband, 2017).

2.3.5 Pragmatismo

Dada la naturaleza aplicada del proyecto, la investigación se guiará por lo que funciona en la práctica. La adaptabilidad y flexibilidad del diseño del invernadero, basado en las necesidades cambiantes de las plántulas y las condiciones ambientales, se alinea con este enfoque (Misak, 2020).

2.4. Definición de términos básicos

a) Plántula

Es una planta joven que ha germinado a partir de una semilla y aún no ha desarrollado estructuras adultas. Es una fase temprana del ciclo de vida de una planta, que sigue a la germinación.

b) Aclimatación

Es el proceso mediante el cual un organismo se adapta a cambios en su entorno, como la temperatura, la humedad o la luminosidad.

c) Automatización

Proceso mediante el cual las tareas se realizan con mínima intervención humana, gracias a la utilización de equipos, software y otras tecnologías.

d) Actuador

Dispositivo mecánico o electrónico que lleva a cabo una acción o movimiento en respuesta a una señal o instrucción, usualmente dentro de sistemas automatizados.

e) Sensor

Dispositivo o instrumento que detecta y responde a una señal o estímulo del ambiente, como temperatura, humedad o luz, y lo convierte en una señal legible o interpretable para un sistema.

f) Microcontrolador

Un pequeño computador en un solo circuito integrado que contiene un procesador, memoria y entradas/salidas programables. Se utiliza en sistemas embebidos y automatización.

2.5. Hipótesis de investigación

2.5.1. Hipótesis general

Construir un invernadero automatizado influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.

2.5.2. Hipótesis específicas

1. Monitorizar las condiciones climáticas influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.
2. Automatizar los actuadores influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.
3. La interactividad con el sistema influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.

2.4 Operacionalización de las variables

Las variables de investigación se presentan a continuación:

- **Variable 1:** Invernadero automatizado.
- **Variable 2:** Aclimatación de plántulas de fresa.

2.6. Operacionalización de las variables

Cuadro 1.
Matriz de Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	
Invernadero automatizado	Es una estructura de cultivo diseñada para optimizar el control de los factores climáticos esenciales, de las plantas, mediante la implementación de tecnología y sistemas de automatización (López, 2005).	Sistema de cultivo cerrado que permite la interacción con el usuario e integra tecnología de automatización que permite monitorizar condiciones climáticas y controlar sistema de riego e intensidad de luz mediante el uso de sensores y actuadores.	Monitorización de condiciones climáticas.	Temperatura interior.	-Ficha de recolección de datos	
			Automatización de actuadores.	Humedad del aire.		
			Interactividad con el sistema.	Frecuencia de riego.		Duración de periodos luminosos.
				Intuitividad de la interfaz de usuario.		Accesibilidad
Aclimatación de plántulas de fresa	Es el proceso en el cual se adaptan las plántulas de forma gradual a las condiciones ambientales externas, reduciendo su dependencia de condiciones controladas y preparándolas para condiciones variables (Pierik Rudolf, 1997).	Sera validado a través de la medición y cuantificación de la tasa de supervivencia de las plántulas, así como su crecimiento y desarrollo bajo las condiciones establecidas por el sistema automatizado.	Tasa de supervivencia.	Porcentaje de plántulas sobrevivientes.		
			Desarrollo morfológico.	Altura en cm		
			Desarrollo radicular.	Numero de hojas	Longitud de las raíces.	
					Densidad y estructura de las raíces.	

Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1.Diseño metodológico

3.1.1. Tipo de investigación

En el marco de este estudio, se ha optado por una investigación aplicada. La investigación aplicada aspira a mejorar las condiciones de individuos o grupos mediante intervenciones directas que abarcan la creación de servicios y productos. La calidad de estas intervenciones se mide en cada etapa, desde el proceso hasta el resultado y el impacto final (Valderrama, 2002). Esta decisión se basa en la naturaleza del proyecto, que no sólo busca comprender un fenómeno, sino que también tiene un propósito práctico: la construcción de un invernadero automatizado para optimizar la aclimatación de plántulas de fresa.

3.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación planteado es de tipo explicativa, debido a que va más allá de la descripción de fenómenos o la identificación de relaciones entre variables. Su principal objetivo es determinar las causas y efectos de un fenómeno particular (hernandez, fernandez y baptista, 2014).

3.1.3. Diseño

El estudio se enmarcará dentro del método científico experimental, utilizando el diseño experimental que permite manipular una variable independiente (en este caso, las diferentes características del invernadero automatizado) para observar el efecto en una variable dependiente (la aclimatación de las plántulas de fresa). Se utilizarán controles y grupos de control para asegurar que los resultados sean atribuibles exclusivamente a las condiciones del invernadero automatizado (Valderrama, 2002).

3.1.4. Enfoque

El enfoque cuantitativo se justifica en este estudio porque se centra en la recopilación, análisis e interpretación de datos numéricos para responder a las preguntas de investigación y comprobar las hipótesis planteadas. El uso de tecnología y sistemas automatizados dentro del invernadero constituye la manipulación intencionada de las condiciones experimentales, mientras que las respuestas de las plántulas proporcionan datos cuantitativos que se pueden analizar para determinar la efectividad del invernadero automatizado.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población de estudio se compone de todas las plántulas de fresa que podrían ser aclimatadas en un invernadero, ya sea tradicional o automatizado. Dado que el invernadero automatizado es una propuesta novedosa, se estima que esta población es amplia y se encuentra distribuida en diferentes localidades de producción agrícola.

3.2.2. Muestra

Dado que es impracticable estudiar toda la población de plántulas de fresa, se seleccionará una muestra representativa. Esta muestra estará compuesta por 4 cantidad de plántulas aclimatadas en un invernadero tradicional y 4 cantidad aclimatadas en el invernadero automatizado. La selección de la muestra se realizará mediante un muestreo aleatorio estratificado para asegurar que las plántulas sean representativas de la población general.

3.3. Técnicas de recolección de datos

Elaboración de cuadros y gráficos estadísticos: Aplicando las herramientas del software que relación bivariado se obtendrán los resultados mediante gráficas y cuadros estadísticos.

Análisis e interpretación de datos: De los resultados obtenidos se realiza el análisis e interpretación acorde a las hipótesis planteadas.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

A continuación, se presentan los dispositivos usados para la automatización del invernadero:

- **ESP32:** Microcontrolador potente y versátil desarrollado por Espressif Systems, con conectividad Wi-Fi y Bluetooth integrada. Actúa como el cerebro del sistema, procesando datos de los sensores y controlando los actuadores (bombas, ventiladores, luces) en función de las condiciones ambientales.

Características principales

Procesador dual-core a 240 MHz.

Wi-Fi 802.11 b/g/n y Bluetooth 4.2.

Múltiples GPIOs, incluyendo PWM, ADC, DAC, UART, I2C, SPI.

Bajo consumo de energía, ideal para sistemas autónomos.



Figura 7. ESP32

- **Sensor de intensidad lumínica BH1750:** Sensor digital que mide la intensidad de luz en lux, utilizado para monitorear la iluminación del invernadero. Permite ajustar la iluminación artificial si la luz natural no es suficiente para el crecimiento óptimo de las plantas.

Características principales

Rango de medición: 1 - 65535 lux.

Comunicación I2C de bajo consumo.

Alta precisión y rápida respuesta.



Figura 8. Sensor de intensidad lumínica BH1750

- **Bomba presión:** Dispositivo que impulsa el agua para el riego automatizado del invernadero. Permite el riego automatizado, activándose según los datos del sensor de humedad del suelo.

Características principales

Alimentación: 24V DC.

Capacidad de caudal variable (según el modelo).

Baja generación de ruido y eficiencia energética.



Figura 9. Bomba presión

- **Módulo de temperatura y humedad DHT12:** Sensor digital que mide la temperatura y humedad del aire. Monitorea las condiciones ambientales, permitiendo activar ventilación o ajustar el riego en función de la humedad relativa.

Características principales

Precisión de temperatura: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

Precisión de humedad: $\pm 2\%$.

Comunicación I2C o 1-Wire.



Figura 10. Módulo DHT12

- **Relays:** Interruptores electrónicos que permiten controlar dispositivos de alto voltaje con señales de bajo voltaje. Controla la bomba de agua, ventiladores y la iluminación.

Características principales

Alimentación 5V

Capacidad de conmutación de AC 250V / DC 30V.

Aislación óptica para protección del microcontrolador.



Figura 11. Relays

- **Cooler:** Ventilador eléctrico que ayuda a regular la temperatura dentro del invernadero. Se activa cuando la temperatura o la humedad exceden los valores óptimos, garantizando una ventilación adecuada.

Características principales

Alimentación: 24V DC.

Bajo consumo energético.



Figura 12. Cooler

- **Sensor de humedad del suelo capacitivo:** Sensor que mide la humedad del sustrato sin contacto directo, evitando corrosión. Permite determinar cuándo regar las plantas, asegurando una humedad óptima en el suelo.

Características principales

Salida analógica, con valores entre 0-3.3V según la humedad.

No usa electrodos, lo que prolonga su vida útil.

Compatible con ESP32 y otros microcontroladores.



Figura 13. Sensor de humedad del suelo capacitivo

- **Módulo RTC DS3231:** Reloj de tiempo real (RTC) que mantiene la hora y fecha con alta precisión. Permite programar horarios de riego, ventilación e iluminación, asegurando que las acciones ocurran en los momentos adecuados.

Características principales

Precisión de ± 2 ppm, gracias a su oscilador interno compensado por temperatura.

Comunicación I2C.

Batería de respaldo, mantiene la hora aun sin alimentación.



Figura 14. Módulo RTC DS3231

- **Pantalla I2C 16x2 con modulo I2C:** Pantalla LCD con una interfaz I2C, utilizada para mostrar información en dos filas de 16 caracteres cada una. Permite visualizar datos en tiempo real, como temperatura y humedad del ambiente; intensidad lumínica; nivel de humedad del suelo; estado de los dispositivos; hora y fecha actual.

Características principales

Resolución: 16 caracteres x 2 filas.

Interfaz I2C, lo que reduce el uso de pines en el ESP32.

Retroiluminación LED ajustable.



Figura 15. Pantalla I2C 16x2 con modulo I2C

- **Buzzer:** Dispositivo que requiere una señal de frecuencia externa para generar sonido, lo que permite variar el tono y la duración de la alerta. Permite diferenciar alertas mediante sonidos distintos avisando problemas en sensores o actuadores con sonidos personalizados.

Características principales

Requiere una señal PWM (Modulación por Ancho de Pulso) para emitir sonido.

Permite diferentes tonos y melodías según la frecuencia aplicada.

Bajo consumo energético.



Figura 16. Buzzer activo

A continuación, se presenta el esquemático del sistema del invernadero. En la figura 17 se muestra en la parte superior el esquemático y en la inferior el PCB layout.

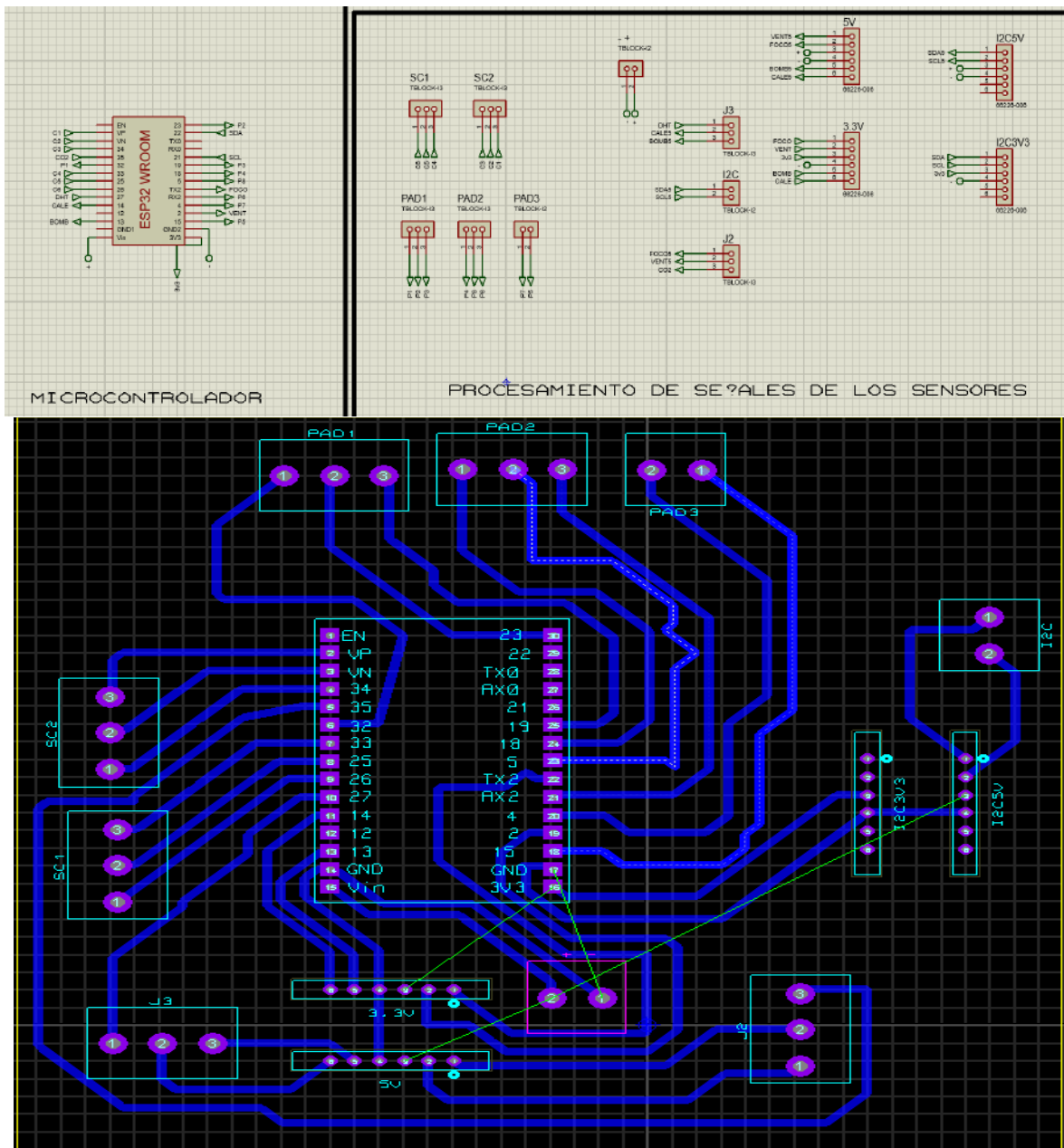


Figura 17. Esquemático y PCB layout

El sistema de notificaciones implementado en el invernadero automatizado se basa en señales sonoras generadas por un buzzer y alertas visuales en la pantalla del sistema. Estas notificaciones se activan cuando los sensores detectan valores fuera de los rangos establecidos para temperatura, humedad o riego. El sonido del buzzer se activa

inmediatamente cuando ocurre una anomalía, al mismo tiempo se genera una alerta en la pantalla mostrando el tipo de alerta detectada, permitiendo que el operador tome una decisión rápida.

Durante la fase experimental, el sistema generó distintos tipos de notificaciones en respuesta a variaciones en los parámetros monitoreados. A continuación, se detallan los principales tipos de notificaciones y las acciones correctivas aplicadas:

- **Alerta de temperatura:** Se activó cuando la temperatura superó los 27°C o bajó de 15°C. Acción tomada: ajuste del sistema de ventilación.
- **Alerta de humedad:** Se generó cuando la humedad ambiental descendió por debajo del 60% o supero el 80%. Acción tomada: activación del sistema de riego.
- **Alerta por fallo de energía:** Se registró cuando hubo cortes en el suministro eléctrico. Acción tomada: intervención manual para restablecer el sistema.

A continuación, se presentan los tipos de errores desarrollados en la fase experimental. En la figura 18 se muestra la alerta generada por fallas de temperatura.



Figura 18. Alerta de temperatura

En la figura 19 se muestra la alerta generada por fallas de humedad.

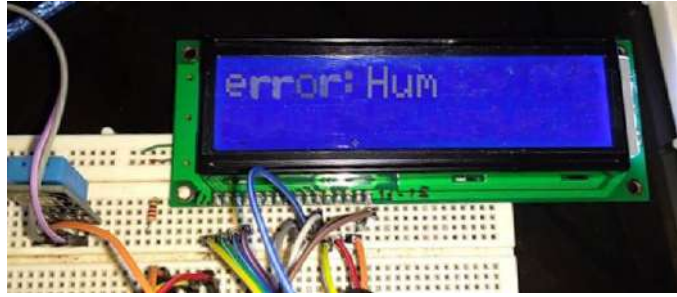


Figura 19. Alerta de humedad

En la figura 20 se muestra la alerta generada por fallo de energía.

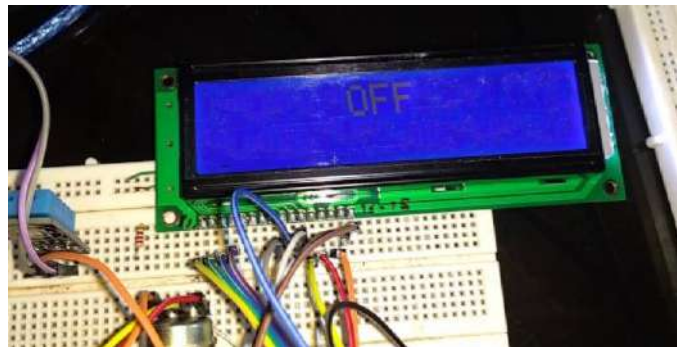


Figura 20. Alerta de fallo de energía

La monitorización precisa de variables como temperatura, humedad y luz es esencial para garantizar condiciones óptimas durante la aclimatación de las plántulas de fresa. Según Jones (2017), las condiciones óptimas para el desarrollo de las fresas son en climas templados con niveles de temperatura entre 18°C y 23°C; humedad relativa entre 65% y 70%; y la luz entre 10 a 12 horas.

Tabla 1. Variables de temperatura, humedad relativa y luz.

Variable	Invernadero Automatizado	Valores Óptimos
Temperatura (°C)	24	18 - 23
Humedad Relativa (%)	70	65 - 70
Luz (h/día)	12	10 - 12

Los datos indican que el invernadero automatizado proporcionó condiciones climáticas cercanas a las óptimas, especialmente en términos de humedad y luz. Aunque la temperatura estuvo ligeramente por encima del rango ideal, es importante considerar que las plántulas de fresa requieren acumulación de horas de frío para un desarrollo adecuado (Jones, 2017).

Los sistemas automatizados de riego, ventilación y sombreado adaptaron las condiciones ambientales de forma dinámica, optimizando el entorno interno del invernadero para el desarrollo de las plántulas.

Tabla 2. Valores de desarrollo de las plántulas.

Indicador	Invernadero Automatizado
Frecuencia de riego (veces/día)	2
Horas de Luz (h/día)	12
Altura Promedio (cm)	10.5
Desarrollo Radicular (cm)	5.8
Numero de Hojas	9
Plántulas Sobrevivientes (%)	100

Las plántulas en el invernadero automatizado alcanzaron una altura promedio de 10.5 cm, un desarrollo radicular de 5.8 cm y un promedio de 5 hojas por planta, todos dentro de rangos aceptables.

Se muestra una plántula de fresa desarrollada en la figura 21.



Figura 21. Plántula de fresa

El análisis de los registros (logs) generados automáticamente por el sistema permitió evaluar la interactividad y eficiencia en la gestión del invernadero automatizado. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 3. Análisis de los registros generados automáticamente.

Métrica	Resultados Obtenidos
Frecuencia de ajustes diarios	12
Notificaciones enviadas	30
Notificaciones atendidas (%)	90
Tiempo promedio de respuesta (min)	3
Errores registrados	1

En promedio, se realizaron 12 ajustes diarios en los parámetros del invernadero, lo que indica una frecuencia adecuada de interacción por parte de los usuarios. El sistema generó 30 notificaciones diarias, de las cuales el 90% fueron atendidas en un tiempo promedio de tres minutos; sin embargo, el 10% restante presentó demoras en la respuesta debido a factores humanos, debido a que los operadores tardaron más tiempo en reaccionar a la

alerta o no estaban presente en las instalaciones del laboratorio, además se detectaron interrupciones en el suministro eléctrico, lo que impidió que las alertas fueran gestionadas de inmediato. Solo se registró un error durante todo el periodo de análisis.

4.2 Contrastación de hipótesis

Hipótesis General

Hipótesis Alternativa: Construir un invernadero automatizado influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.

Hipótesis Nula: Construir un invernadero automatizado no influye en la aclimatación de plántulas de fresa.

Análisis: Se observó que el sistema automatizado proporcionó condiciones climáticas estables y favorables para el desarrollo de las plántulas, tal como se muestra en la tabla 1, tabla 2 y tabla 3, lo que se reflejó en una tasa de supervivencia del 100 %, influyendo positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.

Hipótesis específica 1

Hipótesis Alternativa: Monitorizar las condiciones climáticas influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.

Hipótesis Nula: Monitorizar las condiciones climáticas no influye en la aclimatación de plántulas de fresa.

Análisis: los datos de la tabla 1 muestran que el control de variables como temperatura, humedad y luz contribuyó a mantener un entorno estable para las plántulas, cumpliendo en gran medida con los valores óptimos reportados, influyendo positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.

Hipótesis específica 2

Hipótesis Alternativa: Automatizar los actuadores influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.

Hipótesis Nula: Automatizar los actuadores no influye en la aclimatación de plántulas de fresa.

Análisis: Tal como se visualizan los datos de la tabla 2, la automatización de los actuadores permitió un suministro eficiente de agua y luz, influyendo positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.

Hipótesis específica 3

Hipótesis Alternativa: La interactividad con el sistema influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.

Hipótesis Nula: La interactividad con el sistema no influye en la aclimatación de plántulas de fresa.

Análisis: El análisis de registros de la tabla 3 evidenció una alta capacidad de respuesta, facilitada por las notificaciones automáticas y la facilidad de uso del sistema, influyendo positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1 Discusión de los resultados

Los resultados muestran que el monitoreo de variables como temperatura y humedad relativa dentro del invernadero automatizado logró mantener rangos ideales para la aclimatación de las plántulas teniendo un promedio de temperatura de 24°C y humedad relativa del 75%. Esto coincide con estudios como el de Jones (2017), quien destaca que un control preciso de estas variables mejora la tasa de supervivencia en plántulas cultivadas en ambientes controlados. La automatización de sistemas de riego, ventilación y sombreado permitió respuestas rápidas a cambios detectados por los sensores, garantizando condiciones óptimas durante la mayor parte del experimento. Este resultado se alinea con lo reportado por Smith y Turner (2018), quienes afirman que los sistemas automatizados minimizan la incidencia de errores humanos y optimizan el uso de recursos. La interfaz de usuario desarrollada permitió un monitoreo y control del invernadero, mostrando resultados satisfactorios en términos de facilidad de uso y acceso a datos en tiempo real. Este hallazgo respalda la importancia de la interactividad eficiente señalada por Smith y Turner (2018), quienes destacan que sistemas accesibles fomentan una adopción más amplia de tecnologías automatizadas. El tesista concluye que la interfaz podría beneficiarse en una simplificación de los datos mostrados, de esta forma se responderían de forma más rápida las alertas.

Finalmente, los resultados respaldan la hipótesis general de que un invernadero automatizado influye positivamente en la aclimatación de las plántulas de fresa. Además, cada hipótesis específica planteada también fue confirmada

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Podemos concluir:

- Construir un invernadero automatizado influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.
- Monitorizar las condiciones climáticas influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.
- Automatizar los actuadores influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.
- La interactividad con el sistema influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.

6.2 Recomendaciones

- Optimizar el sistema de control automatizado: Se recomienda ajustar los algoritmos de control para minimizar las fluctuaciones iniciales en las variables ambientales, especialmente durante las primeras fases de aclimatación de las plántulas.
- Mejorar la interfaz de usuario: Diseñar una representación visual más intuitiva de las alertas y datos generados por el sistema, facilitando su interpretación para usuarios sin experiencia técnica.
- Fomentar la sostenibilidad: Incorporar fuentes de energía renovable, como paneles solares, para reducir aún más la huella ambiental del invernadero automatizado.
- Extender la investigación: Explorar la integración de tecnologías emergentes, como inteligencia artificial y aprendizaje automático, para predecir y ajustar de manera proactiva las condiciones del invernadero.
- Capacitación y difusión: Diseñar programas de capacitación dirigidos a agricultores y técnicos, promoviendo el uso de invernaderos automatizados y asegurando una transferencia efectiva de esta tecnología.

REFERENCIAS

7.1. Fuentes bibliográficas

- Anaya Solano, D., & Ojeda Field, L. (2020). Elaboración del prototipo de un sistema de control de variables atmosféricas automatizado para el cultivo de plantas bajo invernadero en ambiente indoor en la Región Caribe (Tesis de pregrado). Universidad de la Costa.
- Criollo Guamán, D. (2022). Comparación del desarrollo del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*), entre dos tipos de invernadero (tradicional y automatizado), desde el trasplante hasta la primera cosecha (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca.
- Diaz Alama, S., García Zapata, L., & Flores Calle, K. (2019). Prototipo de sistema de control automático de temperatura y humedad para un invernadero (Tesis pregrado). Universidad nacional de Piura.
- Gomez Pacci, G. (2019). Diseño e implementación de un controlador difuso utilizando arduino para la automatización de un mini invernadero de rosas (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma.
- Hernández, Fernández y Baptista (2014). Metodología de la investigación. Ciudad de México, México: Mc Graw Hill Education.
- Herrera Gonzalez, J. (2020). Diseño y construcción de un prototipo de invernadero urbano automatizado de tres metros cúbicos que permita controlar la humedad relativa por medio de microcontroladores para generar una producción constante de alimentos orgánicos (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana sede Quito.
- Hume, D. (2011). Una investigación sobre la comprensión humana. Oxford, UK: Oxford University Press.

- Kenny, A. (2018). Una nueva historia de la filosofía occidental. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Morrison, K. (2015). Métodos de investigación en educación. London, UK: Routledge.
- Windelband, W. (2017). Historia y Ciencias Naturales. London, UK: Routledge.
- Misak, C. (2020). El manual de Oxford de filosofía americana. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Pierik Rudolf, L. M. (1997). In vitro culture of higher plants. Springer science & business media.
- Reátegui Arrivasplata, C. (2019). Desarrollo de un sistema de monitoreo y control micro climático en apoyo al cultivo de arándanos en invernadero en la ciudad de Caraz, Departamento de Áncash (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica del Perú.
- Salazar, N. (2020). Diseño de un sistema inteligente para el control automatizado de invernaderos (Tesis de maestría). Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Ticona Pari, J. (2019). Evaluación de un sistema de control automatizado de manejo climático en relación al manejo tradicional de invernadero en el centro experimental cota cota (Tesis de pregrado). Universidad mayor de San Andrés.
- Utus Crispín, J. (2021). Diseño del sistema de control de temperatura de un invernadero para el cultivo de arándanos en el anexo de Cullpa - El Tambo, 2021 (Tesis de pregrado). Universidad Continental.
- Valderrama, (2002). Pasos para elaborar proyectos y tesis de investigación científica. Lima, Perú: San Marcos.

7.2. Fuentes hemerográficas

Jones, H. (2017). Modern greenhouse practices: Monitoring and automation. *Journal of Horticultural Innovation*, 3(1), 35–46.

Smith, J., & Turner, M. (2018). Plant growth and development in controlled environments: Challenges and advancements. *Plant Physiology Reviews*, 27(4), 223–238.

Wilson, R. (2019). Acclimatization strategies in berry crops. *Berry Research*, 6(2), 20–29.

7.3. Fuentes electrónicas

Amiquero Ñahui, R. M. (2019). Creación del centro piloto de producción hortícola en condiciones de clima controlado automatizado y sistema de riego en Jatumpampa - Vinchos - Ayacucho [Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3582>

Aznar-Sánchez, J. A., Velasco-Muñoz, J. F., López-Felices, B., & Román-Sánchez, I. M. (2020). An Analysis of Global Research Trends on Greenhouse Technology: Towards a Sustainable Agriculture. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph17020664>

Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., & Battino, M. (2012). The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28(1), 9–19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nut.2011.08.009>

- Jones, H. (2013). Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology. *Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*, 1–407. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511845727>
- López, Y. (26 de 08 de 2005). Control climático en invernaderos. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/77307-Control-climatico-en-invernaderos.html>.
- goodland. (26 de 9 de 2018). MSC GREENHOUSES. Obtenido de <https://invernaderosmsc.com/que-es-y-como-funciona-un-invernadero/>
- Norma Mexicana para el Diseño y Construcción de Invernaderos. (2023, enero 26). ¿Qué es un invernadero? Hydroenv. Obtenido de https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=44#:~:text=Es%20una%20construcci%C3%B3n%20agr%C3%ADcola%20de,el%20crecimiento%20y%20desarrollo%20de
- Pierik, R., Sasidharan, R., & Voeselek, L. (2007). Growth Control by Ethylene: Adjusting Phenotypes to the Environment. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26, 188–200. <https://doi.org/10.1007/s00344-006-0124-4>
- Shamshiri, R. R., Kalantari, F., Ting, K. C., Thorp, K. R., Hameed, I. A., Weltzien, C., Ahmad, D., & Shad, Z. (2018). Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(1), 1–22. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181101.3210>

ANEXOS

ANEXO N°1
MATRIZ DE CONSISTENCIA

Construcción de un invernadero automatizado para la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023

PROBLEMA	OBJETIVOS	JUSTIFICACIÓN	HIPÓTESIS	VARIABLES	INSTRUMENTOS
<p>Problema general ¿De qué manera construir un invernadero automatizado influye en la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023?</p> <p>Problemas específicos ¿De qué manera la monitorización de condiciones climáticas influye en la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023?</p> <p>¿De qué manera la automatización de actuadores influye en la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023?</p> <p>¿De qué manera la interactividad con el sistema influye en la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023?</p>	<p>Objetivo general Determinar la construcción de un invernadero automatizado y su influencia en la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023.</p> <p>Objetivos específicos Determinar la monitorización de condiciones climáticas y su influencia en la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023.</p> <p>Determinar la automatización de actuadores y su influencia en la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023.</p> <p>Determinar la interactividad con el sistema y su influencia en la aclimatación de plántulas de fresa en el laboratorio de biotecnología – UNJFSC, 2023.</p>	<p>Justificación metodológica La producción de fresas es fundamental tanto para la economía como para satisfacer la demanda del mercado. Garantizar una aclimatación adecuada para las plántulas, especialmente las derivadas del cultivo in vitro, es vital para una cosecha exitosa. Aunque los invernaderos tradicionales han sido esenciales, su gestión manual puede presentar inconsistencias. Los invernaderos automatizados, en cambio, con su capacidad para regular constantemente las condiciones ambientales, representan una evolución prometedora en este campo. Integrando sistemas interactivos, facilitan adaptaciones rápidas a variaciones ambientales.</p>	<p>Hipótesis general Construir un invernadero automatizado influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.</p> <p>Hipótesis específicas Monitorizar las condiciones climáticas influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.</p> <p>Automatizar los actuadores influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.</p> <p>La interactividad con el sistema influye positivamente en la aclimatación de plántulas de fresa.</p>	<p>Variable 1: Invernadero automatizado</p> <p>Variable 2: Aclimatación de plántulas de fresa</p>	<p>- Ficha para registrar datos de las variables independiente y dependiente.</p>

ANEXO N°2
Invernadero Automático

