

UCUENCA

Facultad de Ciencias Agropecuarias
Carrera de Ingeniería Agronómica

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.

Trabajo de titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniera Agrónoma

AUTORA:

Criollo Guamán Daysi Fernanda
C.I 0106641939
daysi.ferc@gmail.com

DIRECTOR:

Ing. Eduardo José Chica Martínez, Ph. D
C.I. 0912795101

CUENCA, ECUADOR

6 de septiembre de 2022

RESUMEN

La automatización de invernaderos es una inversión necesaria y en muchas ocasiones su costo es elevado. Sin embargo, en la actualidad los circuitos microcontroladores, que permiten la automatización de su manejo a través de su integración con sensores para el registro de datos de las condiciones climáticas del invernadero, son una alternativa de bajo costo que permite llevar acabo un manejo tecnificado del cultivo. En esta investigación se evaluó y comparó el desarrollo de la fresa (*Fragaria x ananassa*) en dos sistemas de invernaderos: automatizado y tradicional. El primero fue equipado con sensores y complementos de automatización, mientras que el segundo fue equipado solamente con sensores para medir temperatura y humedad relativa. Estos datos permitieron calcular los grados-días de crecimiento durante cada fase del cultivo. Adicionalmente se evaluaron variables de cultivo a los 86 días después de la siembra, como el número de frutos cuajados, su peso y la altura de planta. La prueba de la Suma de Rangos de Wilcoxon reflejó que, en variables climáticas, solamente existió diferencias significativas ($p < 0,05$) en la temperatura mínima. También hubo diferencias estadísticas significativas en peso del fruto y altura de plantas ($p < 0.05$). Estos resultados indican que el cultivo dentro del invernadero automatizado se desarrolló de mejor manera.

Palabras clave: Sensores. Invernadero. Arduino. Fresa. Temperatura.

ABSTRACT

Greenhouse automation is a valuable investment although and in many cases its cost is high. Nonetheless, at present, currently circuits microcontrollers, which allow the automation of its handling through its integration with sensors for data recording of the climatic conditions of the greenhouse, are a low-cost alternative that allows the management cultivation technology. In this project, the development of the strawberry (*Fragaria x ananassa*) in two greenhouse systems, automated and traditional, was evaluated and compared. The automated greenhouse was and automation plugins, whereas the traditional greenhouse was equipped only with sensors to measure temperature and relative humidity. Microclimate data was used to calculate growing degree hours until day 86 days after planting, when the plants were harvested, and the weight and number of fruits and the height of the plants were measured. The Wilcoxon Rank Sum Test, reflected that, in climatic variables, there were only significant differences ($p < 0.05$) in the minimum temperature. In addition, fruit weight and plant height were also statistically different ($p < 0.05$). The results indicate that that cultivation inside the automated greenhouse was more favorable to the plants.

Keywords: Sensors. Greenhouse. Arduino. Strawberry. Temperature.

ÍNDICE

RESUMEN.....	2
ABSTRACT	3
ÍNDICE	4
LISTA DE TABLAS	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE ECUACIONES	6
1. INTRODUCCIÓN	13
2. OBJETIVOS Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	15
2.1. Objetivo General:	15
2.2. Objetivos Específicos:	15
2.3. Pregunta de investigación	15
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1. Invernadero	15
3.1.1. Tipos de invernaderos	16
3.1.2. Microclima dentro del invernadero	16
3.1.3. Variables dentro del invernadero	18
3.2. Cultivo de fresa (Fragaria x ananassa).....	19
3.2.1. Requerimientos del cultivo	19
3.2.3. Estadio y codificación de la fresa.....	20
3.3. Control y monitorización de Invernaderos.....	21
3.3.1 Arduino.....	22
3.3.2. Sensores	23
4. MATERIALES Y MÉTODOS	23
4.1. Materiales.....	24
4.2 Métodos.....	24
4.2.1 Ubicación del área de estudio	24
4.2.1.1. Descripción de los dos tipos de invernaderos a ser evaluados.	25
4.2.2. Manejo del experimento.....	27
4.2.2.1. Metodología para la investigación experimental del objetivo 1.....	27
“.....	27
4.2.2.1.1. Toma de datos de las variables de temperatura y humedad relativa en el invernadero Automatizado	27

4.2.2.1.2. Toma de datos de las variables de temperatura y humedad relativa en el invernadero Tradicional	28
4.2.2.1.2.1. Diseño de la placa.....	28
4.2.2.2. Metodología para la investigación experimental del objetivo 2.....	30
4.2.2.2.1 Cálculo de la evapotranspiración de referencia.....	30
4.2.2.3. Metodología para la investigación experimental del objetivo 3.....	31
5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	33
5.1. Análisis de datos para el objetivo 1 y 2 “Comparación de temperaturas máximas, mínimas y medias, Evapotranspiración de referencia y grados día”	33
5.2. Análisis de datos para cumplir con el objetivo 3 “Comparación de altura de las plantas, peso y número de frutos”	34
6. RESULTADOS	35
6.1. Análisis de las variables en los dos tipos de invernadero	35
6.2. Comparación de temperaturas máximas, medias, mínimas evapotranspiración y grados día en los dos tipos de invernadero	36
6.3. Comparación de la humedad relativa entre los dos tipos de invernadero	40
6.4. Comparación de altura de las plantas de fresa (Fragaria x ananassa) en los dos tipos de invernadero	40
6.5. Comparación de peso y cuajado del fruto de las plantas de fresa (Fragaria x ananassa) en los dos tipos de invernadero	40
7. DISCUSIONES	42
8. CONCLUSIONES.....	44
9. RECOMENDACIONES	45
10. BIBLIOGRAFÍA.....	46
11. ANEXOS	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Materiales físicos, químicos y biológicos utilizados en el presente estudio....	24
Tabla 2. Dosis de fertilización (g para 25 m ²) en cada invernadero.	32
Tabla 3. Variables evaluadas en los dos invernaderos.....	35
Tabla 4: Estadísticos de la temperatura media, mínima, máxima, ET ₀ , grados días y resultados de las pruebas de medias de Suma de rangos de Wilcoxon en el invernadero automatizado y el invernadero tradicional.	36

Tabla 5. Altura planta de fresa en el invernadero automatizado y el invernadero tradicional, y resultados de la suma de rangos de Wilcoxon.....	40
Tabla 6. Número y peso de frutos cuajados de la primera cosecha de fresa en el invernadero automatizado y el invernadero tradicional, y resultados de la suma de rangos de Wilcoxon	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Control en un invernadero a través de un microcontrolador con Arduino.....	22
Figura 2. Mapa de ubicación de los invernaderos en la parroquia Paccha	25
Figura 3. Invernadero tradicional	26
Figura 4. Invernadero Automatizado	27
Figura 5. Esquema electrónico.	29
Figura 6. Placa implementada con los diferentes sensores para el almacenamiento de datos.	29
Figura 7. Temperatura media, mínima y máxima comparadas en los dos invernaderos, además, descripción por un diagrama caja de bigotes de estos. Líneas y cajas azules y rojas representan datos del invernadero tradicional y automatizado, respectivamente.	38
Figura 8. ETo y grados días-grados registrados en los dos sistemas de invernaderos, además, descripción por un diagrama caja y bigotes de estos. Líneas y cajas rojas y azules representan datos del tradicional y automatizado, respectivamente	39
Figura 9. Promedio diario de Humedad relativa en los tipos de invernaderos.....	40
Figura 10. Altura de las plantas en cada invernadero.	53

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Evapotranspiración de referencia método Hargreaves.....	30
Ecuación 2. Ecuación para hallar la radiación solar extraterrestre	30
Ecuación 3. Distancia relativa inversa Tierra-sol	31
Ecuación 4. Ángulo horario (ω_s).....	31
Ecuación 5. Declinación solar	31
Ecuación 6. Grados día	33

LISTA DE ANEXOS

Anexos 1. Características del sensor Dth 22	53
Anexos 2. Diferencias entre altura de plantas de fresa en los dos tipos de invernadero	53
Anexos 3. Humedad del suelo en el invernadero tradicional y automatizado durante el experimento	54
Anexos 4. Análisis de suelo Invernadero tradicional y automatizado	54
Anexos 5. Cálculo de la Radiación solar extraterrestre	57
Anexos 6. Fotografías de la Investigación	60

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGIA

ET₀: Evapotranspiración

T_{med}: temperatura media

T_{max}: temperatura máxima

T_{min}: temperatura mínima

dr: distancia relativa inversa Tierra-Sol

R₀: Radiación solar extraterrestre

ø: Latitud geográfica

δ: Declinación solar

Dth: Sensor de temperatura y humedad relativa

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Daysi Fernanda Criollo Guamán en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "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.", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 6 de septiembre de 2022



Daysi Fernanda Criollo Guamán

C.I: 0106641939

Cláusula de Propiedad Intelectual

Daysi Fernanda Criollo Guamán autora del trabajo de titulación "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.", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 6 de septiembre de 2022



Daysi Fernanda Criollo Guamán

C.I: 0106641939

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser mi guía y darme fortaleza para alcanzar mi meta más deseada.

A mi familia en especial a mis padres Rosa y Pedro, por la confianza y el apoyo que recibí en esta etapa, a mi esposo Raúl y sus padres Elvia y José por el apoyo emocional que nunca faltó en esta el transcurso de esta etapa.

En especial al Dr. Eduardo Chica, por compartirme sus conocimientos y brindarme su apoyo incondicional para realizar el proyecto.

Agradezco a los docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca, por instruirme.

Fernanda Criollo

DEDICATORIA

Con amor y cariño dedico esta tesis a mis hijas Belén, Sofía, Paulina, Anahí y a mi esposo

Raúl, pues ellos fueron mi fortaleza y mi apoyo para continuar con mis metas, son mi pilar para avanzar sin decaer en el camino y mi más grande fortaleza en los momentos más difíciles.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el avance tecnológico ha permitido el desarrollo de circuitos que cumplan funciones de controladores que pueden ser aplicados a distintos campos de la ciencia como la electrónica, la medicina, la biología, la agricultura. Sin embargo, los países en desarrollo son los menos beneficiados de estas nuevas tecnologías (Trendov et al., 2019).

El manejo de cultivos ha mejorado por el avance de herramientas y estructuras tecnológicas, una de ellas es el invernadero (Shany, 2004). A esta se considera como una estructura que protege y genera las condiciones ideales para un cultivo, lo cual mejora el rendimiento del cultivo. Es necesario entender que el microclima generado dentro de los invernaderos es dependiente del clima exterior, no obstante, es posible alcanzar cierto nivel de control a través de diferentes prácticas. No contar con un sistema de control de clima activo, limita la capacidad de generar condiciones ambientales favorables para la producción agrícola, por lo que el interés en generar alternativas de control dentro del invernadero es una necesidad en desarrollo (E. A. Villagrán-Munar et al., 2019).

El invernadero cumple ciertas funciones que se derivan de la principal, la cual es controlar y mantener un espacio delimitado de terreno bajo condiciones climáticas ideales para el cultivo que esté en desarrollo o destinado a ser implementado en este. Las variables climáticas que se pueden controlar en un invernadero con ciertas técnicas son: la humedad relativa del aire, temperatura ambiente interna, luminosidad, radiación solar, entre otras (Humar et al., 2010).

Sin embargo, en el Ecuador, la automatización de la agricultura no se ha aplicado, debido a factores socioeconómicos y aún se mantiene en uso el manejo tradicional de los sistemas agrícolas, dentro de estos, los invernaderos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación [FAO] & Corporación Andina de Fomento [CAF], 2007), por ende existe una pérdida económica en el sector pecuario.

Los invernaderos son dependientes de las condiciones climáticas del exterior, pero el uso de complementos o sensores calibrados indican los diferentes niveles de ajustes y pueden ser modificados para ser usados y permitir controlar total o parcialmente de las condiciones micro climáticas dentro de este (Shamshiri, 2007). Si bien tecnologías

de monitoreo ambiental para invernadero en Ecuador existen y están disponibles, estas representan un costo elevado de inversión para su implementación y este tipo de tecnología, salvo en casos excepcionales, no suele ser considerada en la implementación de invernaderos (Ortiz, 2011).

El microclima dentro de un invernadero es un punto crítico que podría limitar la productividad y afectar la calidad de la producción debido a ataques de patógenos y plagas, así como desórdenes fisiológicos. La carencia de tecnologías eficaces para controlar las condiciones dentro de los invernaderos, como la humedad ambiental, la temperatura, la ventilación, riego y la luminosidad (Flores-Velázquez & Villarreal-Guerrero, 2017), genera, consecuentemente, una potencial problemática fitosanitaria en cultivos en invernadero que podría originar pérdidas económicas en cultivos bajo plástico y hasta la pérdida total del cultivo (Cabello, 2015).

Algunos estudios señalan que la producción de plantas bajo invernadero es efectiva, esto es ocasionado por el regular crecimiento de las plantas, al mantener un mayor control sobre los factores que influyen en las distintas etapas fenológicas de los cultivos dentro del invernadero, por lo que se obtiene cultivos más sanos, productivos y seguros y pérdida baja o nula (Sigrimis et al., 2001). Se conoce que el cultivo de la fresa en un invernadero tiene como ventaja principal la de adelantar las fechas de máxima producción, en comparación con otros sistemas tradicionales de cultivo de esta planta, de esta manera obtenemos mayores beneficios, tal es el caso de un invernadero tradicional que genera un microclima subóptimo para el cultivo.

Bajo condiciones óptimas, el cultivo puede tener un buen desarrollo productivo y por ende un aumento del rendimiento por unidad de superficie, lo cual reduce el riesgo de plagas y enfermedades causado por cambios meteorológicos bruscos. Con un invernadero automatizado es posible controlar los parámetros climáticos según la etapa fenológica del cultivo y al estar independiente del medio exterior es posible realizar una producción en cualquier época del año (Vaca-Vargas, 2020). Por tal motivo lo que se planteó en este proyecto fue hacer una evaluación comparativa de los factores climáticos y su efecto en el desarrollo y producción de un cultivo de fresa, de un invernadero automatizado con respecto a un invernadero tradicional, bajo las condiciones ambientales de la parroquia Paccha del cantón Cuenca.

2. OBJETIVOS Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

2.1. Objetivo General:

- Comparar el desarrollo del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*) hasta el estado de maduración del fruto entre los dos tipos de invernaderos (tradicional y automatizado).

2.2. Objetivos Específicos:

- Comparar temperaturas máximas, medias y mínimas dentro de los dos tipos de invernaderos.
- Comparar la evapotranspiración de referencia en los dos tipos de invernaderos con cultivo de fresa hasta la fase de maduración de fruto en primera cosecha.
- Describir el desarrollo del cultivo de fresa en los invernaderos desde el trasplante hasta la primera cosecha en los dos tipos de invernadero

2.3. Pregunta de investigación

- ¿Cuán diferente es el desarrollo del cultivo de fresa con un invernadero automatizado respecto a un invernadero tradicional?

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Invernadero

Los invernaderos son estructuras que brindan protección a los cultivos, proveen de condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de las plantas en su interior, las características principales que deben mantener los invernaderos es la eficiencia que mantiene los elementos del clima de acuerdo con las exigencias fisiológicas del cultivo y funcionalidad permite un mejor manejo técnico como económico (Matalla-Gonzalez & Montero-Camacho, 2001).

3.1.1. Tipos de invernaderos

3.1.1.1. Invernadero tradicional

Este tipo de invernaderos son los más utilizados en nuestra región, sus estructuras son diseñadas de acuerdo al material que exista en cada localidad y es de bajo costo, el microclima en su interior es difícil de controlar, el cual depende exclusivamente de la ventilación natural, por lo que los cultivos deben adaptarse a condiciones ambientales no siempre aptas para su desarrollo, e incrementando el riesgo de ocurrencia de problemas fisiológicos y sanitarios (Flores-Velázquez & Vega-García, 2019).

El manejo de las actividades en el invernadero tradicional se realiza de forma manual, el agricultor no posee equipos para controlar la temperatura por lo que necesita abrir puertas y ventanas para ventilar el invernadero o activar el sistema de riego. Estas actividades demandan mayor tiempo en la realización de las actividades dentro de este tipo de invernadero y posibles incrementos en costos por mano de obra que restringen frecuentemente su implementación (Guadiana-Alvarado et al., 2019).

3.1.1.2. Invernadero automatizado

Este tipo de invernadero es de nivel tecnológico alto al poseer sensores y actuadores dentro del invernadero que son capaces de mantener condiciones ambientales estables para el cultivo sin la necesidad de un operario, las actividades se realizan por medio de un computador que controla las actividades que deben realizarse como por ejemplo abrir ventanas, prender calentadores, encender y apagar el sistema de riego, etc., de forma automática (Jiménez Garrido , 2011). Un control climático tiene como objetivo ajustar, en la medida de lo posible, los factores que intervienen en el proceso de cultivo, teniendo en cuenta las interacciones que hay entre ellos (Moreno-Mendez, 2011).

3.1.2. Microclima dentro del invernadero

Dentro del microclima del invernadero las plantas responden a factores del ambiente del exterior, generando un proceso de transferencia de masa y energía entre el

interior del invernadero y el exterior (Teitel et al., 2009). En la actualidad los agricultores han desarrollado técnicas para mejorar las condiciones climáticas dentro del invernadero, mejorando la calidad del cultivo y evitando pérdidas por el aumento de plagas y enfermedades, una técnica es la construcción de invernadero en un lugar expuesto al sol y protegido del viento, o a su vez puede hacer uso de equipos automatizados, esto dependería de la inversión por parte del agricultor (FAO, 2002).

El invernadero se ve afectado por el clima del exterior como la temperatura, humedad relativa, radiación, dirección y velocidad del viento, por ende este sistema puede ser manipulado por el agricultor al establecer un sistema de automatización dentro del invernadero como calefacción, ventilación, activación/desactivación del riego, etc., ya que el ambiente de interés para el agricultor es el interior del área cubierta, puesto que de esto dependerá el desarrollo del cultivo (Alfa & Tognoni, 1999).

El microclima más estable dentro del invernadero logrará un buen desarrollo del cultivo y buena cosecha, al medir las variables climáticas y cómo estas afectan en el desarrollo de la planta, se podría diseñar un sistema automatizado que optimice la producción del cultivo en el interior del invernadero (Díaz-Sarmiento & Solano-Rojas, 2006).

Al hablar del microclima dentro del invernadero, la temperatura es uno de los factores más importantes porque puede alcanzar valores extremos cercanos a 35°C en ciertas épocas y días del año, ocasionando desórdenes fisiológicos en las plantas (A. Villagrán-Munar & Bojacá-Aldana, 2019).

3.1.2.1. Variables ambientales directamente relacionadas con el comportamiento microclimático del invernadero y la producción de los cultivos.

El desarrollo de plantas dependerá de las características genéticas, del manejo por parte del agricultor y sobre todo de la interacción planta-medio ambiente (Villagran & Alvarado, 2014). Existen factores bióticos que abordan las relaciones ecológicas entre los organismos de las plantas y factores abióticos importantes que se encuentran en el clima. Dentro de estos factores se han determinado que variables como la humedad relativa, la radiación, la temperatura, el viento, concentración de CO₂, entre otras, influyen con

los procesos fisiológicos de las plantas como absorción, distribución de minerales, fotosíntesis y la respiración. La producción dentro del invernadero dependerá de la asimilación de todos estos procesos para la formación de masa de las plantas (Villagrán-Munar, 2016).

3.1.3. Variables dentro del invernadero

3.2.3.1. Temperatura

La temperatura es la variable más importante a tener en cuenta, ya que es la que mayor influencia tiene en el crecimiento y maduración de las plantas, la temperatura del aire dentro del invernadero es el resultado del balance energético del abrigo (Castilla N. , 2007). Dentro del invernadero factores como la radiación o el tipo de material de cobertura utilizado dependerá el comportamiento térmico, afectando directamente las funciones de fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y nutrientes, transpiración, actividades enzimáticas, etc. La forma y la orientación del invernadero tienen influencia con la temperatura del ambiente del invernadero (Guzmán et al., 2005).

3.1.3.2. Humedad relativa

La humedad relativa (HR) es la cantidad de agua contenida en aire. Esta es una manera de expresar y cuantificar la cantidad de vapor de agua contenida en un determinado volumen de aire, se expresa en porcentaje (%). Las humedades altas favorecen la transmisión de plagas y enfermedades, mientras que las humedades bajas podrían secar la planta (Aliaga-Mendoza & Quispe-Bolaños, 2015).

La HR disminuye con el aumento de la temperatura, en horas de la mañana es alta, mientras que va disminuyendo al llegar al medio día porque la temperatura aumenta, y mientras más es la humedad relativa del aire hay menos evaporación. Probablemente hay plantas que cuentan con la capacidad de resistir ambientes muy secos, en cambio hay plantas que necesitan disponer de mucha cantidad de agua, y esto dependerá de las características en relación con la humedad. Existen plantas que pueden resistir una HR de 35%, correspondiente a una atmósfera seca, mientras que otras plantas no la resistirían y

morirían, o bien existen plantas que podrían resistir una HR superior a un 90% (Aguado da Costa, 2012).

3.1.3.3. Redición solar

La radiación solar es importante porque constituye la principal fuente de energía para la formación del efecto invernadero y es la principal fuente de energía para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La radiación Fotosintéticamente Activa (PAR), es útil para el proceso de la fotosíntesis ésta corresponde a lo que es llamado luz, aquel fenómeno que es perceptible por el ojo humano y que comprende el espectro electromagnético de longitud de onda entre 400 nm y 700 nm .Las consideraciones de la radiación solar en los sistemas de agricultura protegida son importantes para la productividad de un cultivo, ya que, es necesario analizar los factores que pueden modificar la calidad y la cantidad de la radiación que llega a las plantas (Azua-Barron et al., 2020).

3.2. Cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*).

Ecuador cuenta con las condiciones agroclimáticos ideales para implementar este cultivo, especialmente en las provincias Pichincha, Tungurahua y Azuay. Existe un mayor crecimiento en las provincias de Tungurahua, Imbabura, Chimborazo, siendo uno de las alternativas importantes de la economía (Pazmiño et al., 2018).

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duche.) es una de las frutas más populares y apetecidas en el mundo por su aplicación en la industria. Su morfología y fisiología ha permitido implementar condiciones controladas para la producción de esta fruta (Padilla-Bastidas et al., 2012).

3.2.1. Requerimientos del cultivo

En Ecuador se cultiva en zonas desde 1200 hasta 2500 m s.n.m, se dan muy bien en climas templados, y aunque resista el frío se produce la deformación de los frutos. Las temperaturas para iniciar la vegetación y floración son de 8 a 15°C y 18-23°C para la maduración, este cultivo necesita ventilación en días calurosos. La precipitación mínima requerida se sitúa alrededor de los 600 mm y la humedad relativa adecuada es de entre 60

y 75%. Fuera de este rango, el aumento de humedad está asociado con la proliferación de hongos y enfermedades, y, si es deficiente, las plantas sufren daños fisiológicos donde la planta puede morir y producir pérdidas de todo el cultivo. La fresa requiere suelos ricos en materia orgánica, arcillosos, aireados y bien drenados con pH óptimo en torno a 6,5 e incluso menor; este cultivo es exigente tanto en las cantidades de agua, uniformidad de riego y suficiente a lo largo del cultivo (Pazmiño et al., 2018).

3.2.3. Estadio y codificación de la fresa

Codificación BBCH de los estadios fenológicos de desarrollo de la fresa (*Fragaria x ananassa*) (Meier, 1994).

Estadio principal 0. Brotación

00 Letargo: las hojas postradas y muertas parcialmente

03 La yema principal comienza a crecer

Estadio principal 1. Desarrollo de las hojas

10 Primeras hojas emergen de la yema principal

11 Primera hoja, desplegada

12 2 hojas, desplegadas

13 3 hojas, desplegadas - Normalmente después del estadio 3, ocurre el desarrollo de la yema flora

Los estadios continúan hasta...

19 9 o más hojas, desplegadas

Estadio principal 4. Desarrollo de las partes vegetativas cosechables

41 Comienzo de la formación de estolón: estolones, visibles (alrededor de 2 cm de longitud)

42 1er hijo de la planta, visible

43 Comienzo del desarrollo radicular en el 1er. hijo de la planta

45 1er. hijo de la planta, con raíces (madura para ser trasplantada)

49 Varios hijos de la planta, con raíces (maduras para ser trasplantadas); formación de plantas hijas en forma continua.

Estadio principal 5. Aparición del órgano floral

55 Los primeros primordios florales aparecen en la base de la roseta foliar

56 Inflorescencia alargándose

57 Primeras yemas florales salidas (cerradas todavía)

58 Estadio precoz de globo: primeras flores, con pétalos formando una bola hueca

59 Estadio de globo: la mayoría de las flores, con pétalos formando una bola hueca

Estadio principal 6. Floración

60 Primeras flores, abiertas (primarias o flores A, ver esquema)

61 Comienzo de la floración: Alrededor de 10 % de las flores, abiertas

65 Plena floración: flores secundarias (tipo B) y terciarias (tipo C), abiertas; caen los primeros pétalos

67 Flores marchitándose: la mayoría de los pétalos, caídos

Estadio principal 7. Formación del fruto

71 Receptáculo sobresaliendo de la corona de sépalos

73 Semillas, claramente visibles en el tejido del receptáculo

Estadio principal 8. Maduración del fruto

81 Comienzo de la maduración: la mayoría de los frutos, blancos

85 Los primeros frutos comienzan a adquirir el color varietal típico

87 Cosecha principal: La mayoría de los frutos, coloreados

89 Segunda cosecha: más frutos coloreados

Estadio principal 9. Senescencia y comienzo del reposo vegetativo

91 Comienzo de la formación de los botones axilares

92 Hojas nuevas con limbo más pequeño y pedúnculo corto, visibles

93 Hojas viejas, muriéndose; hojas jóvenes, curvándose; hojas viejas, del color varietal típico

97 Hojas viejas, muertas.

3.3. Control y monitorización de Invernaderos

En el mercado se han perfeccionado y mejorado microcontroladores durante los últimos años, con precios más económicos para el consumidor. Estos sistemas cuentan con sensores y actuadores que interpretan y envían señales para que las actividades se

realicen de manera automática sin la necesidad de que el dueño del invernadero esté presente en el lugar (Mamani et al., 2017).

3.3.1 Arduino

Arduino es una placa de software y hardware libre con una librería de códigos abiertos, que incorpora un microcontrolador programable y una serie de pines-hembra que están unidos internamente a las pastillas de entrada y salida del microcontrolador, que permiten conectar diferentes sensores y actuadores. La climatización dentro de un invernadero con Arduino puede verificar y actuar con sistemas instalados de calefacción, sistema humidificador y de ventilación, manteniendo los niveles adecuados de temperatura, humedad relativa y calidad del aire al utilizar filtros o purificadores de aire para eliminar cualquier esporas de hongos, bacterias o compuestos orgánicos volátiles que flotan en el invernadero, consiguiendo microclimas favorables para el desarrollo de cualquier tipo de cultivo en su interior. En este programa el usuario podrá introducir las condiciones ambientales que necesita su invernadero ya que el microcontrolador actúa para que a través de los sensores emitiendo una respuesta (figura 1). De esta manera podremos crear un ambiente ideal para los cultivos (Barrera et al., 2014).



Figura 1. Control en un invernadero a través de un microcontrolador con Arduino

3.3.2. Sensores

Un sensor es un dispositivo que traduce los parámetros o eventos en el mundo físico a señales que pueden ser medidas y analizadas, convierte energía del mundo físico a energía eléctrica, que puede ser pasada a un sistema computacional o controlador. Existen redes de sensores inalámbricos que incluyen actuadores que les permiten controlar directamente el mundo físico. Por ejemplo, en un invernadero los sensores de temperatura toma datos y a través de estos los actuadores envía órdenes para el control del clima y el sensores de humedad de suelo toma valores del porcentaje de agua en el suelo y según los valor envía las órdenes para que la electroválvula se encienda (Mamani et al., 2017).

3.3.2.1. Sensor de humedad relativa y temperatura DTH

Los sensores Dth11 o Dth22 son unos pequeños dispositivos que permite medir la temperatura y la humedad, se conectan a pines digitales, puesto que la señal de salida es digital, su señal se evidencia por integrar un pequeño microcontrolador. Los sensores de gama Dth se componen de un sensor capacitivo para medir la humedad y de un termistor, ambos sensores están calibrados, por lo que no es necesario añadir ningún circuito de tratamiento de señal. Esto es, sin duda, una ventaja ya que simplifican las conexiones a realizar en la placa. Además, como los Dth presentan una gran fiabilidad por su calibración (Aguilar, s. f.).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

Tabla 1. *Materiales físicos, químicos y biológicos utilizados en el presente estudio.*

Biológico	Equipos	Programas
264 plantas de fresa (<i>Fragaria x ananassa</i>)	Sensor Dth22 (Sensor de	Arduino
	temperatura y HR)	Software Excel
	Arduino mega	Java script
	Modulo Micro SD	R Studio
	Pantalla LCD	

4.2 Métodos

4.2.1 Ubicación del área de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en los invernaderos localizados en la parroquia Paccha, barrio Lancón, en la provincia del Azuay, a una altura aproximada 2598 m s.n.m., en las coordenadas geográficas 78°55'54.0" de longitud Oeste y en cuanto a latitud se encuentra ubicada a 2°55'31.3 Sur".

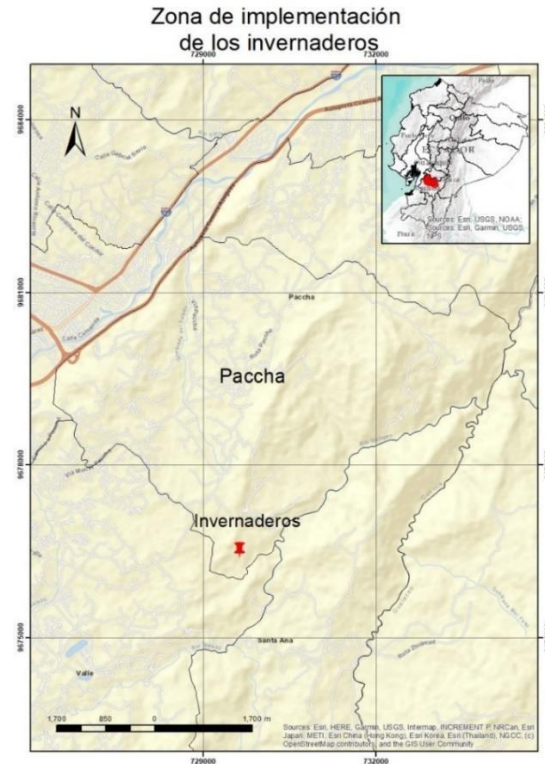


Figura 2. Mapa de ubicación de los invernaderos en la parroquia Paccha.

4.2.1.1. Descripción de los dos tipos de invernaderos a ser evaluados.

Tradicional: el invernadero tiene un área de 25 m², el manejo de las actividades dentro invernadero es de forma manual, como abrir y cerrar ventanas dependiendo del clima y el tiempo que disponga el agricultor, accionar el sistema de riego, calculando un tiempo determinado, y después cerrar la válvula.



Figura 3. *Invernadero tradicional*

Automatizado: el invernadero tiene un área de 25 m², su sistema consta de un microcontrolador central diseñado con software y hardware libre, el funcionamiento de cada sistema esta detallado a continuación.

Riego: consta de un sensor de humedad de suelo (higrómetro), conectado al microcontrolador, en el cual se procesa la información de los valores de humedad del suelo y a su vez, a través de un relé, encendía y apagaba la electroválvula de manera automática, dependiendo de la humedad requerida por el cultivo, en el microcontrolador se puede modificar la humedad del suelo requerida dependiendo del cultivo, en este caso la electroválvula se encendía cuando la humedad del suelo era menor a 60 % y el riego por goteo dura 15 min, posterior a esto se apaga.

Ventana: para el cierre y apertura de la ventana se dispuso de un sensor de Temperatura y HR (Dth22), este sensor estaba conectado al microcontrolador, el sensor envía los datos de temperatura al microcontrolador central, se procesa estos datos, enviando una señal cuando la temperatura esté por encima de los 25°C, la ventana se abría y se cerraba cuando bajaba su valor, la ventana estaba accionada por un motor de doble giro, que se encendía cuando el rele era accionada por el microcontrolador al procesar la información de la temperatura.

También se colocaron dos focos infrarrojos para que aporten calor en las noches cuando baje la temperatura, estos se encienden a través de un LDR (fotocelda) aportando calor suplementario.



Figura 4. *Invernadero Automatizado*

4.2.2. Manejo del experimento

4.2.2.1. Metodología para la investigación experimental del objetivo 1.

“Comparar temperaturas máximas, medias y mínimas dentro de los dos tipos de invernaderos”

4.2.2.1.1. Toma de datos de las variables de temperatura y humedad relativa en el invernadero Automatizado

Para la obtención de los datos requeridos de temperatura y HR, se dispone del microcontrolador central ubicado a 1.50 m de altura desde el suelo.

En el microcontrolador está conectado el sensor Dth22, que toma los valores cada 10 minutos, tanto de temperatura y humedad relativa. Estos datos se visualizan en una pantalla LCD, los mismos que son almacenados en una tarjeta microSD. De acuerdo con los datos tomados cada 10 minutos, fueron promediados a datos diarios tanto

temperaturas mínima, media y máxima, y con estos datos obtenidos en el invernadero automatizado se realizaron las comparaciones.

4.2.2.1.2. Toma de datos de las variables de temperatura y humedad relativa en el invernadero Tradicional

Como se trató de un invernadero tradicional donde no consta ningún equipo electrónico para la recolección de los datos, se armó un dispositivo con sensores de temperatura y humedad relativa (Dth22), reflejando el mismo montaje de sensores y microcontrolador que mantiene el invernadero automatizado, pero con la excepción de los actuadores, este dispositivo solo mantiene los sensores para medir las variables que se utilizó para la comparación de la temperatura y la evapotranspiración de los dos invernaderos, de igual manera los datos tomados cada 10 minutos se promediaron a datos diarios.

4.2.2.1.2.1. Diseño de la placa

Se utilizó una placa de Arduino Mega, en la cual se integró el sensor Dth22 que toma datos de temperatura y Humedad relativa. Este sensor estuvo conectado a la placa. La conexión del sensor Dth22 consta de 4 patillas, de las cuales se usaron 3, VCC (3-5V alimentación), Output (conecta a un pin digital) y GND (Tierra), a su vez fue programado para guardar los datos en una MicroSD. Es necesario aclarar que el IDE de Arduino es de uso libre, al igual que la programación, que está basada en C++ y Java script.

Se realizó la comparación de los datos que se registraron a través del sensor Dth22 colocado en el centro de cada invernadero a 1.50 m de altura desde el suelo, los datos fueron recolectados cada 10 min, se promediaron a datos diarios de temperaturas máximas y mínimas. El sensor tiene un rango de operación de -40 a 80 °C con precisión de ± 0.5 °C para temperatura y para humedad relativa el rango es de 0% a 100% con precisión de 2%. Este sensor se caracteriza por tener la señal digital calibrada por lo que asegura una alta calidad y una fiabilidad a lo largo del tiempo. Adicionalmente, la placa consta de una pantalla LCD donde se muestran los datos de temperatura y humedad relativa y sus datos son almacenados en una tarjeta microSD conectada a la placa.

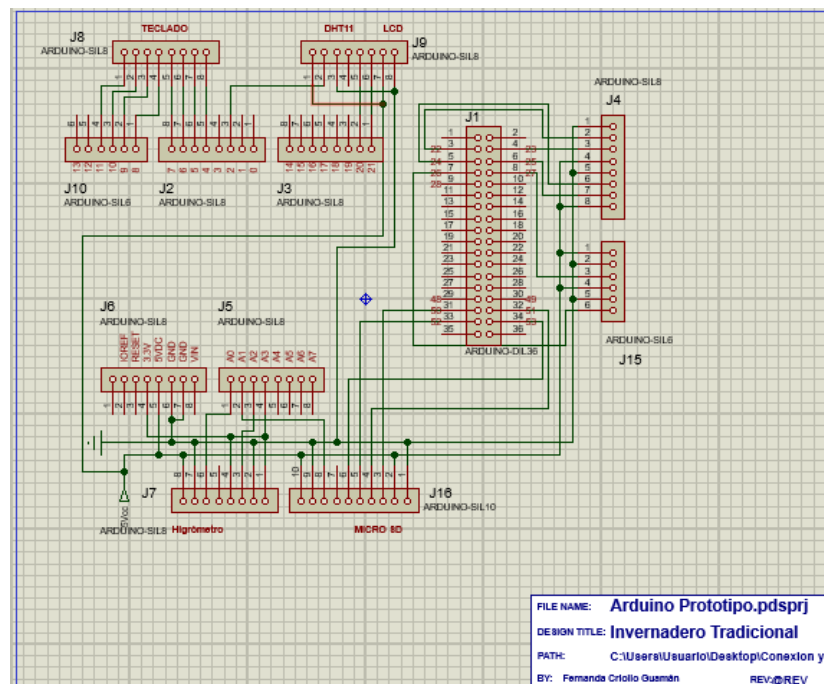


Figura 5. Esquema electrónico.



Figura 6. Placa implementada con los sensores para el almacenamiento de datos.

4.2.2.2. Metodología para la investigación experimental del objetivo 2.

“Comparar la evapotranspiración de referencia en los dos tipos de invernaderos con cultivo de fresa hasta la fase de maduración de fruto en primera cosecha”.

Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia se calculó la a través de la fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985), porque se dispone de datos de temperatura máximas y mínimas obtenidos de los sensores Dth22, obtenidos los datos en cada uno de los invernaderos y a través de la estimación de la radiación sugerida por la (FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 1990).

4.2.2.2.1 Cálculo de la evapotranspiración de referencia.

El método utilizado para hallar la ETo fue de Hargreaves

$$ETo = 0.023 * (tmed + 17.78) * Ra (tmax - tmin)^{0.5}$$

Ecuación 1. Evapotranspiración de referencia método Hargreaves.

Ra: Radiación solar extraterrestre

tmed: Temperatura media

tmin: Temperatura mínima

tmax: Temperatura máxima

Según la FAO (2006), menciona que la radiación extraterrestre Ra (Ecuación 2), se puede calcular para cada día del año y para diversas latitudes a partir de la constante solar, la declinación solar y la época del año y permite calcular en un plano paralelo a la tierra.

$$Ra = \frac{24 \cdot 60}{\pi} * G \cdot dr * [\omega \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\omega) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega)]$$

Ecuación 2. Ecuación para hallar la radiación solar extraterrestre

Ra: radiación extraterrestre [MJ m⁻² día⁻¹]

G: constante solar [0,082 MJ m⁻² min⁻¹]

dr: distancia relativa inversa Tierra-Sol

ω: ángulo de radiación a la puesta del sol

φ: Latitud radianes

δ: Declinación solar

Cálculo de la distancia relativa inversa Tierra-Sol

$$dr = 1 + 0.033 * \cos(2\pi/365J)$$

Ecuación 3. Distancia relativa inversa Tierra-sol

$$dr = 1 + 0,033 \cos(2\pi/365(36)-1.35)$$

donde:

J = Datos obtenidos de la tabla A2.5 Número de día en el año (J) de la FAO 56.

Ángulo horario (ω_s)

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\phi)\tan(\delta)]$$

Ecuación 4. Ángulo horario (ω_s)

donde:

ϕ = Latitud geográfica

δ = Declinación solar

Declinación solar

$$\delta = 0,409 \sin(2\pi/365 J - 1,39)$$

Ecuación 5. Declinación solar

donde: J = Número de día juliano empieza desde el 5 de febrero que sería el día 35 hasta el día 123 que sería el 3 de mayo según la tabla A2.5 de la FAO 56.

R_a se expresa en $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en la Ecuación 2. La evaporación equivalente en mm/día^{-1} se obtiene multiplicando R_a por 0,408. La latitud, ϕ , expresada en radianes es positiva para el hemisferio norte y negativa para el hemisferio sur (Ayllón C, 2012).

4.2.2.3. Metodología para la investigación experimental del objetivo 3.

“Describir el desarrollo del cultivo de fresa en los invernaderos desde el trasplante hasta la primera cosecha en los dos tipos de invernadero”

4.2.2.3.1. Siembra de plántulas en los dos tipos de invernadero

Para la siembra en cada de invernadero se utilizó estolones fresa, el marco de plantación fue de 30*35 cm con un total de 132 plantas para cada invernadero. Se realizó un análisis de suelo para determinar que los suelos tengan las mismas cantidades de

nutrientes para la siembra, finalmente, se aplicó el mismo el fertilizando 10-30-10 y el mismo manejo de las labores culturales, cubriendo las necesidades del cultivo en cada invernadero.

Tabla 2. Dosis de fertilización (g para 25 m²) en cada invernadero.

	TRADICIONAL	AUTOMATIZADO	
N	949.90	935.00	
P ₂ O ₅	741.00	759.87	
K ₂ O	2227.20	2540.00	
Recomendaciones			
	N (alto)	P ₂ O ₅ (bajo)	K ₂ O (alto)
kg/ha	45	190	45
g/25m ²	0.0112	0.475	0.0112

4.2.2.3.2. Variables para evaluar el desarrollo de las plantas de fresa

Altura de la planta: expresada en cm y medido desde el suelo hasta la altura de la hoja más alta. La selección fue al azar en cada fila de las cuatro camas dentro de los dos invernaderos puesto que en los dos invernaderos el suelo y la fertilización fueron las mismas, la medición de las plantas se hizo cada dos semanas con un total de 6 repeticiones.

Fruto: conteo total frutos y peso en el día 86.

Grados día

Los grados-día se calculan de la siguiente manera:

$$Gd = \left[\frac{t_{max} + t_{min}}{2} \right] - T_{Base}$$

Ecuación 6. Grados día.

Gd=Grados-día

T_{max}= Temperatura máxima, °C

T_{min}= Temperatura mínima, °C

T_{base}= Para la fresa 7°C

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

5.1. Análisis de datos para el objetivo 1 y 2 “Comparación de temperaturas máximas, mínimas y medias, Evapotranspiración de referencia y grados día”

Para conocer si hubo diferencias de datos climáticos en los dos tipos de invernaderos tanto de temperaturas y la evapotranspiración, fue necesario conocer si los datos cumplen con la distribución normal y homocedasticidad se aplicó la prueba de Shapiro-Wilks y prueba de Levene respectivamente. Al no cumplirse el primer supuesto estadístico, se aplicó U de Mann-Whitney o Suma de los rangos de Wilcoxon (p-valor < 0.05) (Refugio, 2018). Los datos de temperatura y radiación para la comparación fueron tomados durante 86 días.

Para poder describir y visualizar los resultados de la temperatura media, mínima, máxima, ET₀ y grados día, se usó gráficas de caja y bigotes y gráficas temporales de comparación de las variables climáticas entre los dos tipos de invernadero. La radiación solar fue estimada con la ecuación 2, sugerida por la (FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 1990).

Para el análisis estadístico y creación de gráficas se usó el software estadístico R studio (Team, 2021) con el uso de la librería ggplot2.

5.2. Análisis de datos para cumplir con el objetivo 3 “Comparación de altura de las plantas, peso y número de frutos”

Se aplicó la prueba Shapiro-Wilks para estimar si las variables de altura de la planta, peso y número de frutos cumplen con la distribución de normalidad y se aplicó la prueba de Levene para comprobar la homocedasticidad de datos. Al no cumplir el primer supuesto estadístico, se aplicó U de Mann-Whitney o Suma de los rangos de Wilcoxon ($p\text{-valor} < 0.05$) (Refugio, 2018). Los datos de la altura de las plantas se midieron cada 15 días a partir de la siembra, peso y número de fruto en el día 86.

Para el análisis estadístico se usó el software estadístico R studio (Team, 2021) con el uso de la librería ggplot2.

6. RESULTADOS

6.1. Análisis de las variables en los dos tipos de invernadero

Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks, en la cual el p valor menor a 0.05 indica que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa, igualmente, de la misma manera, las hipótesis se aplican para la prueba de Levene. La Tabla 3 indica que ninguna variable muestra cumple el supuesto de normalidad, aunque varias de ellas su homogeneidad de varianzas; los datos no pudieron ser transformados en su totalidad, por lo que se optó por la aplicación de pruebas no paramétricas.

Tabla 3. Variables evaluadas en los dos invernaderos.

Tipo de Variable	Shapiro Wilks (<0.05)	Levene (<0.05)
Variables de invernadero		
Temp media	3.2e-05	0.025
Temp mínima	3.2e-05	0.046
Temp máxima	6.2e-08	0.23*
ETO	1.4e-05	0.297
Variables agronómicas		
Grados día	1.2e-07	0.35*
Altura de planta	2.5e-11	0.32*
Peso de fruto	4.3e-11	0.061*
Cuajado de fruto	2.7e-11	0.32*

* Cumplen con el supuesto estadístico, es decir, se acepta la hipótesis nula

6.2. Comparación de temperaturas máximas, medias, mínimas evapotranspiración y grados día en los dos tipos de invernadero

Tanto la temperatura media como la mínima fueron mayores en el invernadero automatizado, mientras que la temperatura máxima fue menor (Tabla 4). Las diferencias de temperatura máxima, mínima y promedio estuvieron entre 0.9 y 1.6 °C. Por otra parte, las temperaturas en el invernadero automatizado tendieron a ser menos variables que en el invernadero tradicional, lo cual sugiere que la automatización generó un efecto modulador del microclima del invernadero (Tabla 4 y Figura 7). Sólo la temperatura mínima registró valores estadísticamente diferentes entre ambos invernaderos.

Tabla 4: Estadísticos de la temperatura media, mínima, máxima, ET_0 , grados días y resultados de las pruebas de medias de Suma de rangos de Wilcoxon en el invernadero automatizado y el invernadero tradicional.

Variables	Estadístico				Suma de rangos Wilcoxon	
	Media	Mediana	Varianza	SE	W	p-valor
*Temperatura media (°C)					4072.5	0.15
Invernadero automatizado	18.65	18.35	3.31	0.35		
Invernadero tradicional	17.74	18.04	3.66	0.39		
*Temperatura mínima (°C)					5437.6	<0.001
Invernadero automatizado	13.03	13	1.31	0.14		
Invernadero tradicional	11.43	12	1.82	0.19		
*Temperatura máxima (°C)					3046	0.077
Invernadero automatizado	28.77	30	5.15	0.55		
Invernadero tradicional	29.7	31	6.21	0.67		
* ET_0 (mm)					3106.5	0.115
Invernadero automatizado	0.33	0.34	0.0059	0.008		
Invernadero tradicional	0.34	0.36	0.0079	0.009		
*Grados día					3534	0.8
Invernadero automatizado	13.9	14.5	8.29	0.31		
Invernadero tradicional	13.57	14.5	11.79	0.37		

La ET_0 presentó menor variabilidad entre ambos invernaderos. La Figura 8 muestra que en los dos invernaderos muestran que sus diferencias no son notables (Tabla 4).

La acumulación promedio diaria de grados-días no muestra diferencias notables entre los dos invernaderos, teniendo ambos valores muy similares. Los grados día totales acumulados durante el experimento para el invernadero automatizado fue de 1182 Gd, mientras que para el invernadero tradicional fue de 1153.5 Gd. Lo cual indica que la automatización favoreció ligeramente la acumulación de grados-día lo cual, a su vez, favorece al desarrollo del cultivo. Considerando el valor promedio diario de grados-día acumulados de entre 13.57 y 13.9 Gd (Tabla 4), la diferencia en la acumulación total de grados-día de 29 Gd ($1182 \text{ Gd} - 1153.5 \text{ Gd}$), podría representar una ganancia de 2 días en precocidad del cultivo en el invernadero automatizado, respecto al invernadero tradicional.

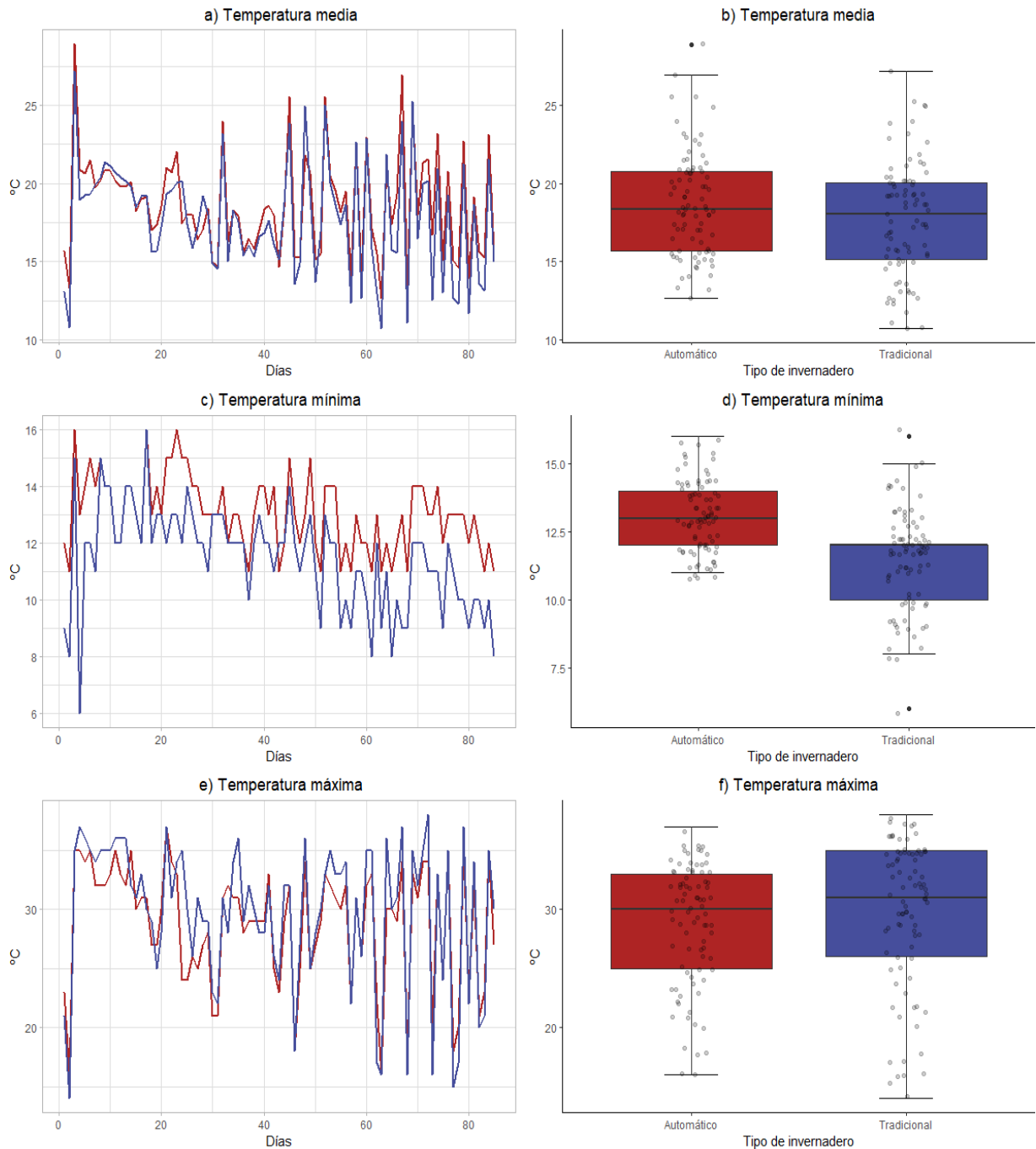
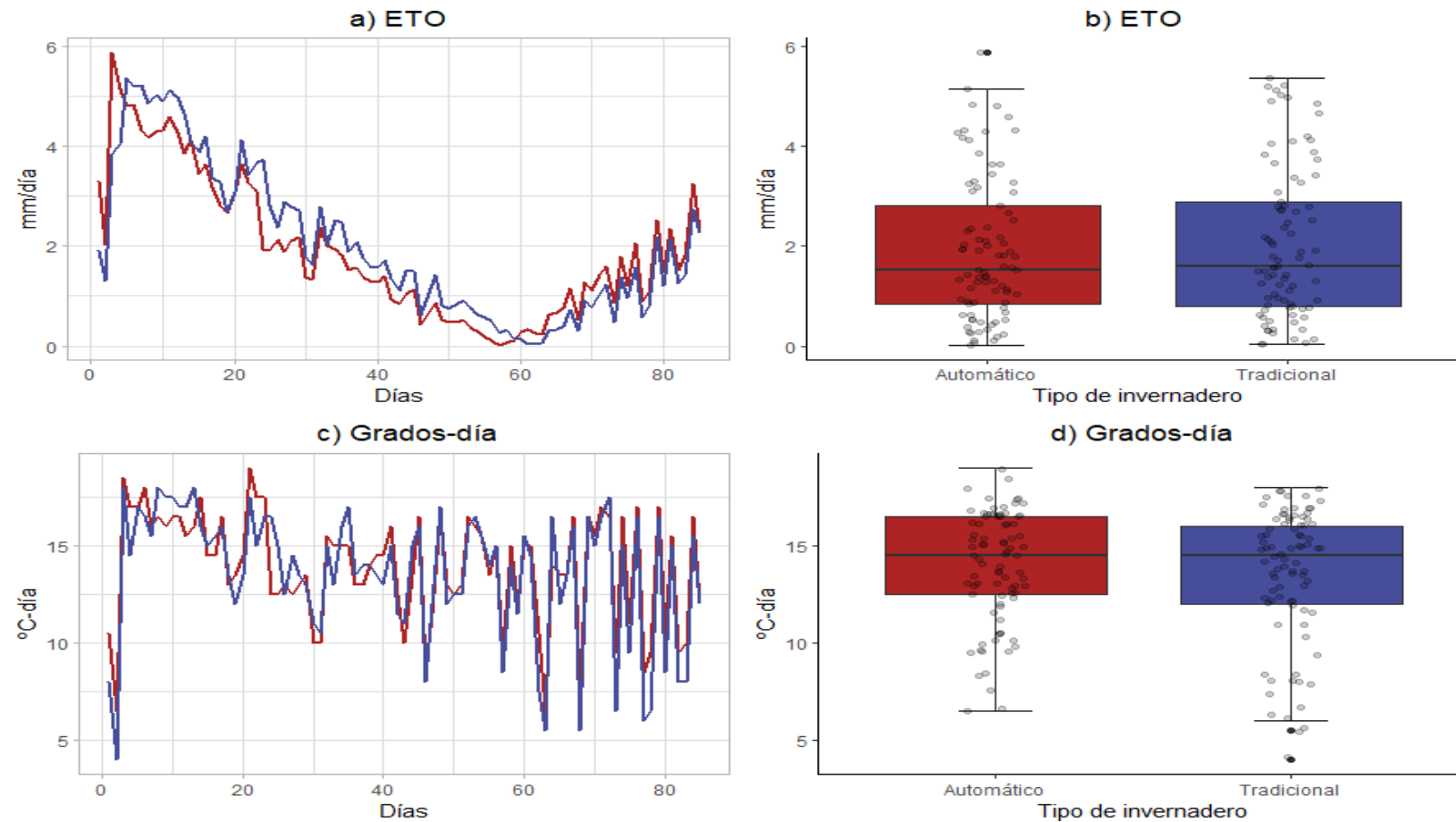


Figura 7. Temperatura media, mínima y máxima comparadas en los dos invernaderos, además, descripción por un diagrama caja de bigotes de estos. Líneas y cajas azules y rojas representan datos del invernadero tradicional y automatizado, respectivamente



Figura

8. ETO y grados días-grados registrados en los dos sistemas de invernaderos, además, descripción por un diagrama caja y bigotes de estos. Líneas y cajas rojas y azules representan datos del tradicional y automatizado, respectivamente.

6.3. Comparación de la humedad relativa entre los dos tipos de invernadero

Dado que el sensor DTH22 en ambos invernaderos tomó datos de humedad relativa, pero esta variable no tuvo efecto sobre la automatización, se hizo una comparación del promedio diario de HR entre los dos tipos de invernadero, mantenían su rango entre los 60 y 80% de humedad relativa en los dos invernaderos óptimos para el cultivo.

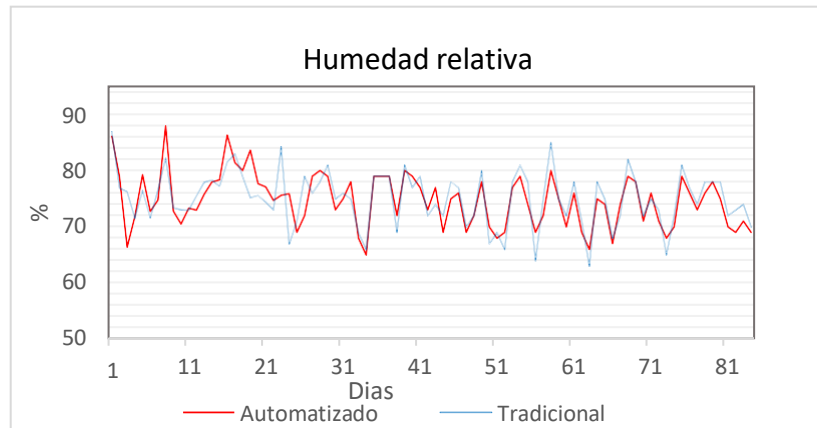


Figura 9. Promedio diario de Humedad relativa en los tipos de invernaderos.

6.4. Comparación de altura de las plantas de fresa (*Fragaria x ananassa*) en los dos tipos de invernadero

Los resultados de la suma de rangos de Wilcoxon revelan que altura de planta sí difiere entre los dos sistemas de invernadero (<0.5), la media y mediana demuestran que fueron mayores en el invernadero automático (Tabla 5), lo cual nos da una idea del desarrollo del cultivo de fresa en este invernadero.

Tabla 5. Altura planta de fresa en el invernadero automatizado y el invernadero tradicional, y resultados de la suma de rangos de Wilcoxon

Variable	Media	Mediana	Varianza	SEM	Suma de rangos Wilcoxon	
					W	p-valor
Altura de la planta Automatizado	18.22	21	107.87	1.12	8705	0.018
Altura de la planta Tradicioal	15.85	19	82.35	0.98		

6.5. Comparación de peso y cuajado del fruto de las plantas de fresa (*Fragaria x ananassa*) en los dos tipos de invernadero

Los resultados de la suma de rangos de Wilcoxon revelan que el peso de los frutos del invernadero automatizado difiere del tradicional ($p < 0.01$, Tabla 6), lo que nos da una idea sobre el desarrollo del fruto de fresa en el invernadero automatizado, la media y mediana demuestran que fueron mayores en el invernadero automatizado, lo cual nos indica que el rendimiento de producción del invernadero automatizado fue mayor. En cuanto al número de frutos cuajados no se observaron diferencias estadísticamente significativas, indicando que el componente de rendimiento mejorado por la automatización fue el peso de los frutos. En efecto, durante la recolección de frutos se pudo observar que la calidad de los frutos del invernadero tradicional fue menor y los mismos tuvieron tamaños más pequeños.

Tabla 6. Número y peso de frutos cuajados de la primera cosecha de fresa en el invernadero automatizado y el invernadero tradicional, y resultados de la suma de rangos de Wilcoxon

Variables	Estadístico				Suma de rangos Wilcoxon	
	Media	Mediana	Varianza	SE	W	p-valor
*Peso de fruto					41306	<0.001
Invernadero automatizado	7.94	7.6	10.87	0.18		
Invernadero tradicional	7.13	6.7	14.19	0.21		
*Cuajado de fruto					91.5	0.27
Invernadero automatizado	25.75	22.5	183.6	3.91		
Invernadero tradicional	21.25	17	253.29	4.59		

7. DISCUSIONES

Se pudo constatar que el invernadero automatizado, diseñado con base en la plataforma Arduino y con el uso de sensores, permitieron obtener valores de variables climáticas y el funcionamiento de complementos que, en conjunto, permitieron el manejo completamente automatizado del cultivo, lo cual aminora el esfuerzo físico y el ahorro de tiempo.

Este sistema automatizado de invernadero basado en Arduino ha sido evaluado por distintos desarrolladores en el área agrícola, el mismo que tiene dos funciones principales: el riego de la plantación y el registro de variables climáticas. Como lo indica (Bakke, 2019), la característica de código abierto de la plataforma Arduino, permite mejorar y acoplar el sistema, además que su costo es menor y requiere solo de conocimientos básicos de electrónica (Bansod et al., 2018).

Los sensores DTH22 usados en la investigación, de acuerdo a (A. Abdulrazzak et al., 2018) tienen un margen de error bajo y una gran capacidad para poder medir estas variable, además permite coleccionar datos meteorológicos con modificaciones leves en este sensor. Se ha probado que este sensor presenta valores muy reales, al compararlo con sensores que son usados en su mayoría para circuitos complejos que forman parte de sensores climáticos más sofisticados (Kalaierasi et al., 2018).

En este estudio se pudo evidenciar que el número de frutos en el invernadero tradicional fueron pequeños y consecuentemente de bajo peso, en cuanto a la altura de la planta y peso del fruto fueron mayores en el sistema de invernadero automatizado. Algunas de las posibles razones que explican este resultado, son la presencia de flujos de aire que producen enfriamiento excesivo en el invernadero tradicional (Osatuke & Pritts, 2021). En el sistema invernadero automatizado, se evidenció un aumento de la temperatura (Kikas & Libek, 2005) cuando la temperatura descendía, evitando así condiciones desfavorables para el desarrollo del cultivo. Este incremento de temperatura puede deberse tanto a la retención de calor por el cierre de la ventana como por el calentamiento de la iluminación suplementaria con focos caloríficos evitando que la temperatura disminuya por debajo de niveles críticos para el cultivo.

Para el desarrollo óptimo de la fresa, es necesario considerar la temperatura a la cual está sometida durante el día y durante la noche, cuando la temperatura descendía demasiado, la automatización permitía mediante lámparas incandescentes aumentar la temperatura dentro de este, con el fin de mantener al cultivo dentro de las condiciones ambientales y a la flor desarrollarse en menos tiempo. Según Sønsteby & Heide (2009) el rango de temperatura ideal para la fresa está entre los 10°C a 25°C, asimismo, los mismos autores constataron que a temperaturas menores a 9°C la floración no se desarrollaba normalmente.

Los avances tecnológicos son una forma de optimizar el funcionamiento de un invernadero con lo cual se obtiene una mejor distribución del agua de riego, la ventilación y la temperatura, adicional al efecto térmico de la iluminación suplementaria, esto también pudo tener un efecto mejorador de la fotosíntesis de las plantas (Hidaka et al., 2013) lo cual también pudo haber promovido el crecimiento en altura de la planta, su área foliar, la materia seca de la hoja y sobre todo en el desarrollo de la flor, lo cual podría ser una solución para la producción de un cultivo (Wang et al., 2020).

Por otra parte, la ET_0 en los dos invernaderos fueron similares, pues este parámetro depende de la Ecuación 1, en la cual intervienen las temperaturas y la estimación de la radiación (FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 1990).

En estudios referentes al cálculo de la ET_0 , depende mucho de la fórmula que se utilice. El estudio de Santiago-Rodríguez (2012) realiza la comparación entre las fórmulas de Fao-Penman-Monteith, Priestley-Taylor, Hargreaves y RNA, la fórmula que mejor estimó la ET_0 fue la de Fao-Penman-Monteith, aunque la RNA (Método de redes neuronales artificiales) tiene un mejor desempeño, pero esta estimación depende mucho del registro previo de las variables meteorológicas. En el presente estudio no se utilizó la variable de humedad relativa, esta variable podría variar los resultados de la ET_0 que es un parámetro muy importante en el cálculo para el requerimiento de agua en el cultivo, ya que en este sistema automatizado el riego dependía mucho de la humedad del suelo y su automatización mantenía un buen balance hídrico evitando llegar a un punto de

marchitez permanente y permitiendo un eficiente uso de agua al regar solo en tiempos cuando el cultivo lo necesite.

Según Trezza (2008) los resultados obtenidos de la ET_0 son satisfactorios, siendo su principal ventaja la de requerir sólo de datos de temperatura máxima y mínima del aire, pues esta información lo podemos encontrar disponible en las estaciones meteorológicas de cada país.

También es importante señalar que la evapotranspiración actual varía regional y temporalmente según las condiciones climáticas del área, dependiendo mucho de la fórmula que se utilice para su estimación ya que hablamos de una variable clave que engloba la pérdida de agua de los cultivos por transpiración y del suelo por evaporación, y estimación dependería mucho en elaboración de calendarios de riego y así optimizar el recurso hídrico durante el ciclo de cada cultivo pues en la actualidad es un recurso que se torna cada vez más limitante debido a la contaminación y la disminución de la precipitación por el cambio climático global (López Avendaño et al., 2019).

8. CONCLUSIONES

La automatización del invernadero con riego, apertura de ventanas y calor suplementario a través de focos mejoró el desarrollo y rendimiento de las plantas de fresa, también se puede aplicar diversas estrategias y herramientas que nos ayuden a mantener condiciones climáticas estables para el desarrollo del cultivo trabajando principalmente en la variable de temperatura para evitar que la producción del cultivo se vea afectado por la temperatura.

La automatización del invernadero sólo generó diferencias estadísticamente significativas en la temperatura mínima. Adicionalmente, se registró una mayor acumulación de grado-días en el invernadero automatizado.

Si bien el invernadero automático mostró mejores resultados, el algoritmo y los sensores utilizados en este estudio son aún sujeto de mayor desarrollo a través de la evaluación de otros sensores, accesorios, o nuevos algoritmos. Sin embargo, en su estado actual, el

equipo implementado en el invernadero automatizado aún representa un costo ocho veces menor a los PLC más económicos, o a circuitos de riego disponibles comercialmente.

9. RECOMENDACIONES

Analizar otras variables climáticas y derivadas de estas, como son el Déficit de Presión de vapor o DPV, igualmente realizar ensayos que permitan entender la fisiología durante ciertas condiciones ambientales, al tener la ventaja de obtener datos meteorológicos, tratar de explicar la razón y desarrollar técnicas de mejoras en el cultivo de ensayo.

Modificar el circuito y la programación, que permita cumplir más funciones de acuerdo con otras variables ambientales a considerar, además de recomendar el uso de este por su costo y las funciones que llegue a cumplir.

Probar el sistema automatizado con otro cultivo y comparar si tiene el mismo funcionamiento, es decir, que ayude a mejorar el desarrollo de dicho cultivo, además en distintas condiciones ambientales, como en la costa o la Amazonía, para poder controlar ciertos desperfectos y fallos que se presentan de acuerdo con las condiciones del medio, como la corrosión de piezas.

10. BIBLIOGRAFÍA

- A. Abdulrazzak, I., Bierk, H., & Aday, L. A. (2018). Humidity and temperature monitoring. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4), 5174-5177. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.23225>
- Aguado da Costa, J. (2012). Desarrollo de un sistema automatizado para un invernadero. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/2930>
- Aguilar, N. E. S. (s. f.). Diseño de un sistema inteligente para el control automatizado de invernaderos. 68.
- Alfa, & Tognoni, &. (1999). *Cutivo en invernadero* (III ed., Vol. III). (C. CERISOLA, Ed.) Madrid: Ediciones mundi-prensa. Recuperado el 30 de Octubre de 2019
- Aliaga-Mendoza, G., & Quispe-Bolaños, P. R. (2015). "Sistema de control de la humedad relativa para invernadero utilizando el controlador lógico programable.". Universidad Nacional de Huancavelica, Pampas.
- Ayllón C, V. G. (2012). Comparación de métodos de estimación de la radiación solar en Maracay, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 62(1-4), 139-146.
- Bakke, G. (2019). Chapter 1 股関節 概念 Chapter 1 股関節. *An Automated Irrigation System Using Arduino Microcontroller*, 1908(January), 2-6.
- Bansod, S., Jaiswal, R., Sargam, P., & Survase, P. (2018). Arduino Based Water Irrigation System. *International Journal of Advance Reseach in Science and Engineering (IJARSE)*, 07(Special Issue No. 03), 903-910.
- Barrera , E., Herrero , R., & Meraz, A. (2014). *Invernadero Inteligente*. Invernadero Inteligente. Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y eléctrica, México. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/14050/1/INVERNADERO%20INTELIGENTE.pdf>
- Bogdan, M. (2016) 'How to Use the DHT22 Sensor for Measuring Temperature and

Humidity with the Arduino Board’, ACTA Universitatis Cibiniensis, 68(1), pp. 22–25.
doi:10.1515/aucts-2016-0005.

Cabello, T. (2015). Problemática De Plagas En Cultivos Hortícolas En Invernaderos: Evolución. Agrícola Vegetal, January 2001.

Castilla, N. (2007). Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo. Almería, España: Mundi-Prensa. Díaz-Sarmiento, H. O., & Solano-Rojas, O. F. (2006). Diseño y simulación del control climático para un invernadero y base de datos de registro. Universidad de la Salle Facultad de Ingeniería de diseño y automatización electrónica., Bogota. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/80

Choque Tarqui, C.E. (2021) ‘Rivacoba (2013)’, Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 8(1), pp. 45–53.

Dürr et al. (2015). FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1990). Evapotranspiración del Cultivo. Serie Didáctica, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán, 45.

FAO. (2002). El cultivo protegido en clima mediterráneo. Manual preparado por el Grupo de Cultivos Hortícolas Dirección de Producción y Protección Vegetal. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-s8630s.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (1990) ‘Evapotranspiración del Cultivo’, Serie Didáctica, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán, 45.

Flores-Velázquez, J., & Vega-García, M. (2019). Regional management of the environment in a zenith greenhouse with computational fluid dynamics (CFD). Gestión regional del ambiente en un invernadero cenital con dinámica de fluidos computacional (DFC)., 11(1), 3-20. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2018.04.007>

Flores-Velázquez, J., & Villarreal-Guerrero, F. (2017). Diseño de un sistema de ventilación forzada para un invernadero cenital usando CFD. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 6(2), 303-316. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i2.690>

- Guadiana-Alvarado, Z. A., Durán-García, H. M., Rossel-Kipping, E. D., Algara-Siller, M., & Cisneros-Almazán, R. (2019). Semiautomatisation of one small scale greenhouse. *Semiautomatización de un invernadero de pequeña escala.*, 12(9), 53-59. <https://doi.org/10.32854/agrop.v12i9.1389>
- Guzmán, J. L., Rodríguez, F., Berenguel, M., & Dormido, S. (2005). Laboratorio Virtual para la Enseñanza de Control Climático de Invernaderos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 2(2), 82-92.
- Hargreaves, G. H., and Z. A. Samani. 1985. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. *Am. Soc. Agric. Eng.* 1 (2): 96-99.
- Hidaka, K., Dan, K., Imamura, H., Miyoshi, Y., Takayama, T., Sameshima, K., Kitano, M., & Okimura, M. (2013). Effect of supplemental lighting from different light sources on growth and yield of strawberry. *Environmental Control in Biology*, 51(1), 41-47. <https://doi.org/10.2525/ecb.51.41>
- Humar, A., Tiwar, G., K, S., & P, M. (2010). Role of Greenhouse Technology in Agricultural Engineering*. *International Journal of Agricultural Research*, 5(9), 779-787. <https://doi.org/10.3923/ijar.2010.779.787>
- Jiménez Garrido , D. A. (2011). “La importancia de la automatización en invernaderos para el cultivo de jitomate en el estado de Morelos”. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, UNAM, Mexico. Obtenido de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3488083>
- Kalaiarasi, S., Gautam, S., Behera, A., & Mewara, M. (2018). Arduino Based Temperature and Humidity Sensor. *Journal of Network Communications and Emerging Technologies (JNCET)*, 8(4), 329-331.
- Kikas, A., & Libek, A. (2005). Influence of temperature sums on growth and fruit mass and yield of strawberry. *European Journal of Horticultural Science*, 70(2), 85-88.
- López Avendaño, J. E., Rodríguez, J. C., Martínez Gallardo, J. Á., Lizárraga Jiménez, R., Díaz Valdés, T., López Avendaño, J. E., Rodríguez, J. C., Martínez Gallardo, J. Á., Lizárraga Jiménez, R., & Díaz Valdés, T. (2019). Uso de FAO-56 y

- cintilómetro para estimar la evapotranspiración de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) y sus componentes: Evaporación del suelo y transpiración de la planta. *Terra Latinoamericana*, 37(2), 141-150. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.393>
- Mamani, M., Villalobos, M., & Herrera, R. (2017). Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola. *Low cost web system to monitoring and control an agricultural greenhouse.*, 25(4), 599-618.
- Matalla Gonzalez, A., & Montero Camacho, J. I. (2001). *INVERNADEROS Diseño, Construcción y Climatización*. Madrid-Barcelona- México: Ediciones Mundi-Prensa.
- Meier, e. a. (1994). Obtenido de <https://www.agroes.es/cultivos-agricultura/cultivos-huerta-horticultura/colifor/544-fresa-estadios-fenologicos-de-desarrollo>
- ML8511_3-8-13.pdf. (s. f.). Recuperado 25 de octubre de 2020, de https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/ML8511_3-8-13.pdf
- Moreno-Mendez, I. (2011). Invernadero Automatizado. Obtenido de <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1710pub.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación [FAO] & Corporación Andina del Fomento [CAF]. (2007). Ecuador, Nota de Analisis Sectorial, Agricultura y Desarrollo Rural. Corporación Andina De Fomento (Caf), INFORME, 67.
- Ortiz, M. C. M. (2011). Intelligent Control Toolkit. *Intelligent Control Toolkit*, 3(3), 52926.
- Osatuke, A., & Pritts, M. (2021). Strawberry flavor is influenced by the air temperature differential during fruit development but not management practices. *Agronomy*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/agronomy11030606>
- Padilla Bastidas, O. M., Calderón Medellín, L. A., Pérez Trujillo, M. M., & Caicedo, D. R. (2012). Comparación del crecimiento, la productividad y la calidad en plantas madre e hijas de fresa 'camarosa' cultivadas bajo invernadero. *comparasion of*

growth, yield and quality of mothers and daughters of 'camarosa' strawberry plants under greenhouse., 8(1), 44-55.
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=88616070&lang=es&site=ehost-live>

Payan-Timaná, M. (2015). Automatización de un invernadero didáctico mediante una tarjeta de desarrollo Arduino. Automatización de un invernadero didáctico mediante una tarjeta de desarrollo Arduino. Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Tecnologías Escuela de tecnología mecánica. Pereira, Pereira. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/8125/6298P343.pdf?sequence=1>

Pazmiño, P., Lema, G., Mendoza, D., Velástegui, G., & Vásquez, C. (2018). Parámetros biológicos de *Tetranychus urticae* Koch (ACARI: TETRANYCHIDAE) alimentado sobre dos cultivares de fresa en Ecuador. Biological parameter of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) fed on two strawberry cultivars in Ecuador., 30(3), 229-234.
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=131757383&lang=es&site=ehost-live>

Perea-Palacios, J. W. (2016). Diseño de un sistema de monitoreo, registro y control de temperatura y humedad para un cultivo de invernadero. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/7436/621317P434.pdf>

Refugio, C. N. (2018). An Empirical Study on Wilcoxon Signed Rank Test An Empirical Study on Wilcoxon Signed Rank Test Ana Marie Durango. Journal of, December. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13996.51840>

Santiago-Rodríguez, S., Arteaga-Ramírez, R., Sangerman-Jarquín, D. M., Cervantes-Osornio, R., & Navarro Bravo, A. (2012). Evapotranspiración de referencia estimada con Fao-Penman-Monteith, Priestley-Taylor, Hargreaves y RNA. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 3(8), 1535-1549.

- Shamshiri, R. (2007). Principles of Greenhouse Control Engineering Institute of Advanced Technology.
- Shany, M. (2004). Producción de hortalizas en condiciones Tecnificadas. Ministerio de Relaciones Exteriores de Israel Centro de Cooperacion Internacional Seminario, 1, 1-65.
- Sigirmis, N., Antsaklis, P., & Groumpos, P. P. (2001). Advances in control of agriculture and the environment. IEEE Control Systems Magazine, 21(5), 8-12. <https://doi.org/10.1109/37.954516>
- Sønsteby, A., & Heide, O. M. (2009). Temperature limitations for flowering in strawberry and raspberry. Acta Horticulturae, 838(July), 93-97. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2009.838.15>
- Team, R. C. (2021). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R: A language and environment for statistical computing.
- Teitel, M., Barak, M., & Antler, A. (2009). Effect of cyclic heating and a thermal screen on the nocturnal heat loss and microclimate of a greenhouse. Biosystems Engineering, 102(2), 162-170. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.11.013>
- Trendov, N., Varas, S., & Zeng, M. (2019). Tecnologías digitales en la agricultura y las zonas rurales. Tecnologías digitales, 26.
- Trezza, R. (2008). Estimación de evapotranspiración de referencia a nivel mensual en Venezuela. ¿Cuál método utilizar?. Bioagro. doi:ISSN: 1316-3361 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85720202>
- Vaca-Vargas, S. A. (2020). Automated greenhouse, instrumentation and fuzzy logic. Invernadero automatizado, instrumentación y lógica difusa., 14(1), 29-48. <https://doi.org/10.14483/22484728.15907>

- Villagran, E., & Alvarado, F. (2014). Variables ambientales relacionadas directamente con la producción agrícola bajo invernadero. Asocolflores. Revista Florycultura, 27.....
- Villagrán-Munar, E. A. (2016). Diseño y evaluación climática de un invernadero para condiciones de clima intertropical de montaña. Diseño y evaluación climática de un invernadero para condiciones de clima intertropical de montaña. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería, Departamento de Ing. Civil y Agrícola, Bogota-Colombia.
- Villagrán-Munar, A., & Bojacá-Aldana, C. R. (2019). Determinación del comportamiento térmico de un invernadero colgante colombiano aplicando simulación CFD. Determination of the Thermal Behavior of a Colombian Hanging Greenhouse Applying CFD Simulation., 28(3), 1-11. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=137284770&lang=es&site=ehost-live>
- Villagrán-Munar, E. A., Bojacá-Aldana, C. R., Villagrán-Munar, E. A., & Bojacá-Aldana, C. R. (2019). Simulacion del microclima en un invernadero usado para la producción de rosas bajo condiciones de clima intertropical. Chilean journal of agricultural & animal sciences, 35(2), 137-150. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000308>
- Wang, R., Eguchi, M., Gui, Y., & Iwasaki, Y. (2020). Evaluating the effect of light intensity on flower development uniformity in strawberry (*Fragaria ×ananassa*) under early induction conditions in forcing culture. HortScience, 55(5), 670-675. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14917-20>

11. ANEXOS

Anexos 1. Características del sensor Dth 22

- Alimentación: $3.3\text{Vdc} \leq V_{cc} \leq 6\text{Vdc}$
- Rango de medición de temperatura: -40°C a 80°C
- Precisión de medición de temperatura: $<\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
- Resolución Temperatura: 0.1°C
- Rango de medición de humedad: De 0 a 100% RH
- Precisión de medición de humedad: 2% RH
- Resolución Humedad: 0.1%RH
- Tiempo de censado: 2s (Perea-Palacios, 2016).

Anexos 2. Diferencias entre altura de plantas de fresa en los dos tipos de invernadero

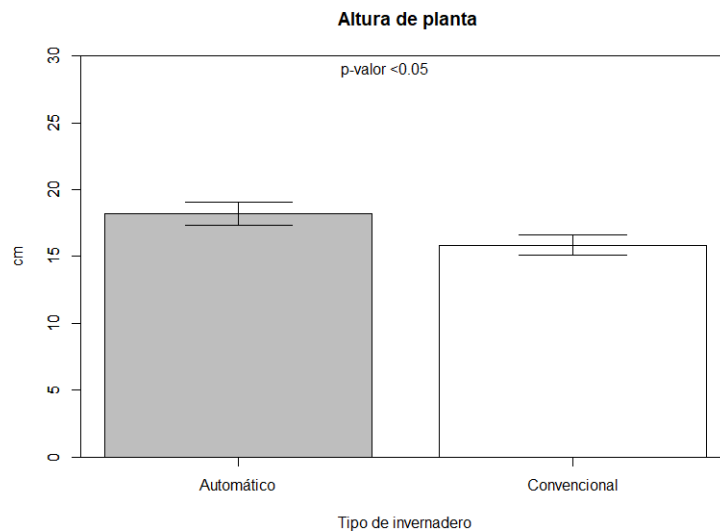
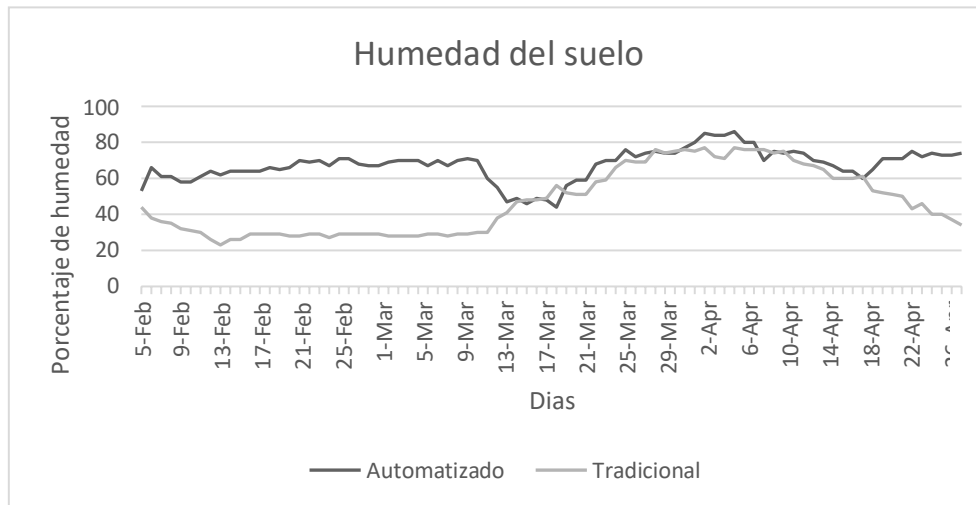


Figura 10. *Altura de las plantas en cada invernadero.*

Anexos 3. Humedad del suelo en el invernadero tradicional y automatizado durante el experimento



Anexos 4. Análisis de suelo Invernadero tradicional y automatizado

 AGROCALIDAD INGENIERIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSENIARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO01
		Rev. 5
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 2

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE-LEN-16-006

Informe N°: LN-SFA-E21-0056
Fecha emisión Informe: 08/02/2021

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Fernanda Criollo

Teléfono¹: 0999260340

Dirección¹: Las Pencas

Correo Electrónico¹:

fernand.criollo@ucuenca.edu.ec

Provincia¹: Azuay

Cantón¹: Cuenca

N° Orden de Trabajo: 01-2021-0012

N° Factura/Documento: 003-001-3609

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra ¹ : Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo ¹ : Fresa		
Provincia ¹ : Azuay	Coordenadas ¹ :	X: ---
Cantón ¹ : Cuenca		Y: ---
Parroquia ¹ : Paccha		Altitud: ---
Muestreado por ¹ : Fernanda Criollo		
Fecha de muestreo ¹ : 15-01-2021	Fecha de inicio de análisis: 18-01-2021	
Fecha de recepción de la muestra: 18-01-2021	Fecha de finalización de análisis: 08-02-2021	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-21-0063	A1	pH a 25 °C	Electrométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	---	5,76
		Materia Orgánica*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	10,02
		Nitrógeno*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,50
		Fósforo*	Colorimétrico PEE/SFA/11	mg/kg	4,4
		Potasio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,50
		Calcio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	16,54
		Magnesio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	2,65
		Hierro*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	90,6
		Manganeso*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	17,71
		Cobre*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	3,91
		Zinc*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	< 1,60
		Conductividad Eléctrica*	Conductímetro PEE/SFA/08	dS/m	0,274

Analizado por: Katty Pastás, Pablo Atapuma

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

¹ Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

 AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL TIPO Y ZOOAGNARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interceñica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO01
		Rev. 5
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 2

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE-LEN-16-006

Informe N°: UN-SFA-E21-0055
 Fecha emisión Informe: 08/02/2021

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Fernanda Criollo

Dirección¹: Las Pencas

Provincia¹: Azuay

Cantón¹: Cuenca

Teléfono¹: 0999260540

Correo Electrónico¹:

fernand.criollo@ucuenca.edu.ec

N° Orden de Trabajo: 01-2021-0012

N° Factura/Documento: 003-001-3609

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipos de muestra ¹ : Suelo		Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo ¹ : Fresa			
Provincia ¹ : Azuay		Coordenadas ¹ :	X: ---
Cantón ¹ : Cuenca			Y: ---
Parroquia ¹ : Paccha			Altitud: ---
Muestreado por ¹ : Fernanda Criollo			
Fecha de muestreo ¹ : 15-01-2021		Fecha de inicio de análisis: 18-01-2021	
Fecha de recepción de la muestra: 18-01-2021		Fecha de finalización de análisis: 08-02-2021	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-21-0062	T1	pH a 25 °C	Electrométrico FEE/SFA/06 EPA 9045D	---	5,67
		Materia Orgánica*	Volumétrico FEE/SFA/09	%	10,17
		Nitrógeno*	Volumétrico FEE/SFA/09	%	0,51
		Fósforo*	Colorimétrico FEE/SFA/11	mg/kg	4,9
		Potasio*	Absorción Atómica FEE/SFA/12	cmol/kg	0,43
		Calcio*	Absorción Atómica FEE/SFA/12	cmol/kg	17,14
		Magnesio*	Absorción Atómica FEE/SFA/12	cmol/kg	2,55
		Hierro*	Absorción Atómica FEE/SFA/13	mg/kg	94,1
		Manganeso*	Absorción Atómica FEE/SFA/13	mg/kg	9,85
		Cobre*	Absorción Atómica FEE/SFA/13	mg/kg	4,83
		Zinc*	Absorción Atómica FEE/SFA/13	mg/kg	< 1,00
		Conductividad Eléctrica*	Conductímetro FEE/SFA/08	dS/m	0,202

Analizado por: Katty Pastás, Pablo Atapuma

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.

Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

¹ Datos suministrados por el cliente; el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

Anexos 5. Cálculo de la Radiación solar extraterrestre

Nº día	dr	δ	ω_s	MJ m ⁻² día ⁻¹	mm/día ⁻¹
35	0,85129123	-0,28990284	1,35325096	31,52725488	12,86312
36	0,84109806	-0,28489624	1,35728316	31,10701881	12,6916637
37	0,83065591	-0,27980531	1,36136759	30,67590267	12,5157683
38	0,81996787	-0,27463155	1,36550263	30,23408729	12,3355076
39	0,8090371	-0,26937649	1,36968671	29,7817661	12,1509606
40	0,79786684	-0,26404169	1,37391824	29,31914522	11,9622112
41	0,78646039	-0,25862873	1,37819568	28,84644346	11,7693489
42	0,77482113	-0,25313921	1,3825175	28,36389238	11,5724681
43	0,76295251	-0,24757476	1,38688219	27,87173622	11,3716684
44	0,75085804	-0,24193702	1,39128828	27,37023183	11,1670546
45	0,7385413	-0,23622766	1,39573428	26,85964862	10,9587366
46	0,72600593	-0,23044837	1,40021877	26,34026838	10,7468295
47	0,71325566	-0,22460086	1,40474033	25,81238518	10,5314532
48	0,70029424	-0,21868687	1,40929756	25,27630513	10,3127325
49	0,68712552	-0,21270814	1,4138891	24,73234617	10,0907972
50	0,6737534	-0,20666645	1,41851358	24,18083784	9,86578184
51	0,66018183	-0,20056357	1,4231697	23,62212095	9,63782535
52	0,64641484	-0,19440133	1,42785616	23,0565473	9,4070713
53	0,63245649	-0,18818154	1,43257167	22,48447932	9,17366756
54	0,61831092	-0,18190604	1,43731498	21,90628968	8,93776619
55	0,60398232	-0,1755767	1,44208487	21,32236091	8,69952325
56	0,58947493	-0,16919538	1,44688013	20,73308494	8,45909866
57	0,57479304	-0,16276398	1,45169958	20,13886264	8,21665596
58	0,55994099	-0,15628439	1,45654204	19,54010337	7,97236217
59	0,5449232	-0,14975854	1,46140639	18,93722439	7,72638755
60	0,52974409	-0,14318836	1,4662915	18,33065042	7,47890537
61	0,51440817	-0,13657579	1,47119627	17,72081298	7,2300917
62	0,49891998	-0,1299228	1,47611963	17,1081499	6,98012516
63	0,48328409	-0,12323134	1,4810605	16,49310462	6,72918669
64	0,46750514	-0,1165034	1,48601786	15,87612566	6,47745927
65	0,4515878	-0,10974098	1,49099066	15,25766592	6,2251277
66	0,43553678	-0,10294607	1,49597791	14,63818203	5,97237827
67	0,41935683	-0,09612069	1,50097862	14,01813369	5,71939854
68	0,40305275	-0,08926685	1,50599179	13,39798297	5,46637705
69	0,38662935	-0,08238659	1,51101648	12,77819364	5,21350301
70	0,3700915	-0,07548194	1,51605172	12,15923041	4,96096601
71	0,3534441	-0,06855494	1,52109658	11,54155826	4,70895577
72	0,33669207	-0,06160766	1,52615014	10,92564166	4,4576618
73	0,31984037	-0,05464213	1,53121147	10,3119439	4,20727311

74	0,30289399	-0,04766043	1,53627968	9,700926305	3,95797793
75	0,28585795	-0,04066462	1,54135385	9,093047518	3,70996339
76	0,26873728	-0,03365677	1,54643309	8,488762746	3,4634152
77	0,25153707	-0,02663897	1,55151653	7,888523027	3,2185174
78	0,2342624	-0,01961327	1,55660328	7,292774494	2,97545199
79	0,21691838	-0,01258177	1,56169246	6,701957635	2,73439872
80	0,19951014	-0,00554654	1,5667832	6,116506568	2,49553468
81	0,18204285	0,00149033	1,57187462	5,555649469	2,26670498
82	0,16452167	0,00852675	1,57696586	5,060931539	2,06486007
83	0,14695179	0,01556065	1,58205605	4,556063339	1,85887384
84	0,1293384	0,02258995	1,5871443	4,041204551	1,64881146
85	0,11168673	0,02961256	1,59222975	3,516526448	1,43474279
86	0,094002	0,0366264	1,59731152	2,982211758	1,2167424
87	0,07628944	0,0436294	1,60238873	2,43845449	0,99488943
88	0,0585543	0,05061949	1,60746048	1,885459763	0,76926758
89	0,04080182	0,05759459	1,61252588	1,323443607	0,53996499
90	0,02303727	0,06455264	1,61758403	0,752632752	0,30707416
91	0,0052659	0,07149159	1,62263402	0,173264399	0,07069187
92	-0,01250703	0,07840937	1,62767492	0,414414017	0,16908092
93	-0,03027626	0,08530394	1,63270581	1,010145088	0,4121392
94	-0,04803653	0,09217325	1,63772574	1,613661694	0,65837397
95	-0,06578258	0,09901529	1,64273375	2,224687292	0,90767241
96	-0,08350915	0,10582801	1,64772887	2,842936202	1,15991797
97	-0,10121101	0,1126094	1,65271013	3,468113915	1,41499048
98	-0,1188829	0,11935746	1,65767651	4,099917408	1,6727663
99	-0,1365196	0,12607019	1,66262701	4,738035465	1,93311847
100	-0,15411589	0,1327456	1,66756059	5,382149009	2,1959168
101	-0,17166656	0,13938171	1,67247621	6,031931449	2,46102803
102	-0,18916641	0,14597656	1,67737279	6,687049021	2,728316
103	-0,20661026	0,1525282	1,68224924	7,347161147	2,99764175
104	-0,22399295	0,15903469	1,68710446	8,011920795	3,26886368
105	-0,24130934	0,1654941	1,69193731	8,680974844	3,54183774
106	-0,25855429	0,17190452	1,69674665	9,353964451	3,8164175
107	-0,2757227	0,17826405	1,70153131	10,03052543	4,09245438
108	-0,2928095	0,18457082	1,7062901	10,71028862	4,36979776
109	-0,30980962	0,19082295	1,71102179	11,39288028	4,64829515
110	-0,32671802	0,19701858	1,71572514	12,07792244	4,92779235
111	-0,34352971	0,2031559	1,72039891	12,7650333	5,20813359
112	-0,36023971	0,20923308	1,72504179	13,45382761	5,48916167
113	-0,37684307	0,21524832	1,72965248	14,14391706	5,77071816
114	-0,39333488	0,22119985	1,73422965	14,83491061	6,05264353
115	-0,40971025	0,22708589	1,73877194	15,52641494	6,33477729

116	-0,42596434	0,23290471	1,74327797	16,21803474	6,61695818
117	-0,44209234	0,23865459	1,74774633	16,90937317	6,89902425
118	-0,45808946	0,24433382	1,75217561	17,60003213	7,18081311
119	-0,47395098	0,24994072	1,75656434	18,28961273	7,46216199
120	-0,48967221	0,25547364	1,76091106	18,97771555	7,74290794
121	-0,50524848	0,26093092	1,76521427	19,66394105	8,02288795
122	-0,52067518	0,26631097	1,76947245	20,34788991	8,30193908
123	-0,53594775	0,27161219	1,77368407	21,02916336	8,57989865

Anexos 6. Fotografías de la Investigación

AUTOMATIZADO	TRADICIONAL
 Fotografía1. Preparación del suelo	 Fotografía2. Preparación del suelo
 Fotografía 3. Trazo para la siembra y fertilización	 Fotografía 4. Trazo para la siembra y fertilización



Fotografía 5. Dosis de fertilización



Fotografía 6. Fertilización en cada hilera de siembra.



Fotografía7. Siembra de las plantas



Fotografía 8. Siembra de las plantas



Fotografía 9. Plántulas sembradas en desarrollo



Fotografía 10. Plántulas sembradas en desarrollo



Fotografía11. Desarrollo del cultivo



Fotografía12. Desarrollo del cultivo



Fotografia13. Microcontrolador en el invernadero automatizado



Fotografia14. Placa diseñada en el invernadero tradicional para la toma de datos.



Fotografia15. Desarrollo del cultivo



Fotografía 16. Desarrollo del cultivo



Fotografía 17. Floración del cultivo



Fotografía 18. Floración del cultivo



Fotografía 19. Floración



Fotografía 20. Floración



Fotografía 21. Toma de datos de la altura de plantas



Fotografía 22. Toma de datos de la altura de plantas



Fotografía 23. Fructificación del cultivo



Fotografía 24. Fructificación del cultivo



Fotografía 24. Peso del fruto



Fotografía 25. Peso del fruto



Fotografía26. Fructificación del cultivo



Fotografía 27. Fructificación del cultivo