



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS MICROCLIMÁTICOS EN CONDICIONES AUTOMATIZADAS EN EL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) BAJO INVERNADERO

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Agrónomo

Autores:

Luis Miguel Villavicencio Flores

CI: 0103975090

luismiguelvif.95@gmail.com

Edgar Rafael Zhumi Guiracocha

CI: 0105743439

ed_raf13@hotmail.com

Directora:

Dra. Lourdes Elizabeth Díaz Granda

CI: 0102537008

Cuenca – Ecuador

25-noviembre-2021



Resumen:

Actualmente los invernaderos generan control del entorno donde crecen las plantas. Son utilizados para aumentar la calidad y rendimiento de las plantaciones en ubicaciones que tienen estaciones cortas de crecimiento, o bien condiciones adversas de iluminación debido a su localización geográfica, mejorando la producción de alimentos. Sin embargo, la falta de tecnificación representa una disminución en la producción, se forma un microclima inadecuado provocando un estrés en las plantas. El microclima dentro de un invernadero debe ser controladas para garantizar una buena producción, estos factores afectan directamente al desarrollo del cultivo en diferentes fases fenológicas.

El presente proyecto tiene como objetivo la evaluación de parámetros microclimáticos bajo invernadero, usando un módulo semiautomatizado en un cultivo de tomate riñón. Se evaluó la fluctuación de la temperatura y humedad relativa, además; la influencia de los sensores y controladores en los aspectos agronómicos del cultivo. Para la evaluación se realizó 2 tratamientos y un testigo, para el primero se empleó un sistema módulo semiautomatizado (sensores y actuadores) dentro del invernadero, el segundo con un módulo (sensores) y un manejo convencional y finalmente se colocó un módulo (sensores) testigo en la parte externa del invernadero, posteriormente los datos se evaluaron mediante estadística descriptiva por la naturaleza del proyecto.

La utilización del sistema semiautomatizado demostró tener un control sobre el microclima del invernadero, presentó diferencias estadísticas, con un valor p-valor <0.0001 con una media mensual de temperatura de $31.23\text{ }^{\circ}\text{C}$ contra el sistema convencional $37.66\text{ }^{\circ}\text{C}$, media de humedad de 53.05% , comparado con el sistema convencional 76.60% . Respecto a los aspectos agronómicos, el sistema semiautomatizado influyó positivamente, dando como resultado una altura de plantas con una media de 87.66 cm , diferente del sistema convencional de media 75.27 cm . La tecnificación en los cultivos ayuda a mejorar la calidad y cantidad de producción.

Palabras claves: Mejoramiento de cultivos bajo invernadero. Prototipo de control microclimático. Invernadero convencional y semiautomatizado. Control microclimático bajo invernadero.



Abstract:

Currently greenhouses generate control of the environment where plants grow. They are used to increase the quality and yield of plantations in locations that have short growing seasons, or adverse lighting conditions due to their geographic location, improving food production. However, the lack of technification represents a decrease in production, an inappropriate microclimate is formed, causing stress in the plants. The microclimate inside a greenhouse must be controlled to guarantee good production, these factors directly affect the development of the crop in different phenological phases.

The objective of this project is the evaluation of microclimatic parameters under a greenhouse, using a semi-automated module in a kidney tomato crop. The fluctuation of temperature and relative humidity was also evaluated, the influence of sensors and controllers on the agronomic aspects of the crop. For the evaluation, 2 treatments and a control were carried out, for the first a semi-automated module system (sensors and actuators) was used inside the greenhouse, the second with a module (sensors) and conventional handling and finally a module (sensors) was placed control in the external part of the greenhouse, later the data were evaluated by descriptive statistics due to the nature of the project.

The use of the semi-automated system proved to have a control over the greenhouse microclimate, it presented statistical differences, with a p-value <0.0001 with a monthly average temperature of $31.23\text{ }^{\circ}\text{C}$ against the conventional system $37.66\text{ }^{\circ}\text{C}$, average humidity of 53.05% , compared to the conventional system 76.60% . Regarding agronomic aspects, the semi-automated system had a positive influence, resulting in a plant height with an average of 87.66 cm , different from the conventional system with an average of 75.27 cm . Technification in crops helps to improve the quality and quantity of production.

Keywords: Improvement of crops under greenhouse. Prototype of microclimatic control. Conventional and semi-automated greenhouse. microclimatic control under greenhouse.



Índice del Trabajo

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	18
CAPÍTULO II: OBJETIVOS	19
2.1 Objetivo general del proyecto	19
2.2 Objetivos específicos	19
CAPÍTULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	20
3.1 INVERNADERO	20
3.1.1 DEFINICIÓN DE INVERNADERO	20
3.1.2 IMPORTANCIA	20
3.1.3 TIPOS DE INVERNADERO.....	21
3.1.3.1 INVERNADERO DE CAPILLA	21
3.1.3.2 INVERNADERO DE DOBLE CAPILLA.....	22
3.2 SELECCIÓN DEL SITIO	22
3.2.1. ORIENTACIÓN	23
3.3 RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN INVERNADERO	23
3.3.1. ALTURA RECOMENDABLE DEL INVERNADERO	23
3.4 PARÁMETROS DE CONTROL DENTRO DE UN INVERNADERO	24
3.4.1. TEMPERATURA EN INVERNADEROS	24
3.4.2. VENTILACIÓN DE INVERNADEROS	24
3.5 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PARA LA ESTRUCTURA	26
3.6 MICROCLIMA	26
3.6.1. EXIGENCIAS BIOCLIMÁTICAS DEL CULTIVO	27
3.7 SISTEMAS APLICADOS EN LOS INVERNADEROS	28
3.8 PROTOTIPO	28
3.9 ALGORITMO	28
3.10 MONITOREO AMBIENTAL	29



3.11	SENSORES DE TEMPERATURA	29
3.12	ARDUINO EN LA AGRICULTURA	30
3.12.1	¿QUÉ ES UN MICROCONTROLADOR?	30
3.13	SISTEMA DE MANEJO CONVENCIONAL	31
CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS		31
4.1.	MATERIALES	31
4.2.	UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO	32
4.3.	CARACTERIZACIÓN DE LOS ASPECTOS ECOLÓGICOS	32
4.4.	ESTABLECIMIENTO DE ÁREAS DEL ESTUDIO	36
4.5.	DESCRIPCIÓN DEL INVERNADERO	36
4.5.1.	ESTRUCTURA DEL INVERNADERO	36
4.5.2	TIPO DE SUELO	37
4.5.3.	MANEJO AGRONÓMICO DEL CULTIVO	37
4.5.4.	ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL MICROCLIMÁTICO	39
CAPÍTULO V: RESULTADOS		47
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN		74
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		76
REFERENCIAS		77
ANEXOS		81



Índice de tablas.

Tabla 1. Materiales utilizados para el proyecto.....	31
Tabla 2 Resultados e interpretación de análisis de suelos.	38
Tabla 3. Plagas y enfermedades que se presentaron durante la fase de campo.	39
Tabla 4. Especificaciones técnicas de instrumentos de medición utilizados en el proyecto.	43
Tabla 5. Datos de temperatura, corrigiendo el sensor empleado en el estudio con un termómetro comercial, donde, C1, C2, C3 corresponden a los valores medidos por el termómetro comercial y T1, T2, T3 son los valores registrados por el sensor electrónico, LI y LS corresponden a los límites inferior y superior respectivamente.....	54
Tabla 6. Prueba T para comprobación de no significancia de la corrección de temperaturas tomadas con sensor digital (T) y un termómetro de mercurio (C).	55
Tabla 7. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.....	55
Tabla 8. Fluctuación de la variable temperatura en cada invernadero y testigo.....	56
Tabla 9. Fluctuación de la variable temperatura para los meses de estudio en los diferentes tratamientos.	57
Tabla 10. Fluctuación de la variable temperatura para los meses de estudio en los diferentes tratamientos.	58
Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) sobre parámetro microclimático correspondiente a temperatura, datos referidos en días, donde n – número de muestras, C.V – coeficiente de variación, GL – grados libertad.....	59
Tabla 12. Prueba de Tukey, en donde; Alfa – nivel de significancia, gl – grados de libertad, n – número de muestras, E.E – Error estándar.	59
Tabla 13. Análisis de varianza y Tabla de ANOVA sobre parámetro microclimático correspondiente a Humedad Relativa, con un $p < 0,05$, donde n - número de muestras, C.V - coeficiente de variación, SC - suma de cuadrados, GL - grados libertad y CM - media cuadrática.	62
Tabla 14. Prueba de Tukey, en donde; Alfa – nivel de significancia, gl – grados de libertad, n - número de muestras, E.E – Error estándar.	62
Tabla 15. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para datos agronómicos.....	66
Tabla 16. Análisis comparativo de medias para las características agronómicas del cultivo, donde n es el número de muestras y E.E es el error estándar.	67
Tabla 17. Prueba t de student para datos agronómicos correspondiente a altura de plantas. ...	68



Tabla 18. Prueba t de student para datos agronómicos correspondiente a cantidad de frutos cuajados.....70

Tabla 19. Prueba t de student para datos agronómicos correspondiente a conductividad estomática.....71

Tabla 20. Prueba t de student para datos agronómicos correspondiente a cantidad de frutos cosechados.....72



Indice de figuras.

Figura 1. Invernadero de capilla.	21
Figura 2. Invernadero de doble capilla.....	22
Figura 3. Estructura de invernaderos.....	26
Figura 4. Microclima al interior de un invernadero.	27
Figura 5. Delimitación de la parroquia Santa Ana.....	33
Figura 6. Sitio de Estudio en donde se encuentra ubicado el Invernadero.....	34
Figura 7. Ubicación del área de estudio.	35
Figura 8. Diseño de cortina y estructura del invernadero, escala 1:1.....	37
Figura 9. Distribución de prototipos en campo, escala 1:4,3.....	40
Figura 10. Diagrama de funcionalidad del prototipo.....	40
Figura 11. Eficiencia de activación de los actuadores en relación con los límites de temperatura establecida en el algoritmo.....	48
Figura 12. Cantidad de activaciones que presento el sistema, por día.	49
Figura 13. Relación entre la temperatura de los 9 Días y horas del día (Temperatura A=0; Temperatura B=1), juntamente con la activación del sistema. Los puntos amarillos muestran la activación del sistema.	51
Figura 14. Relación entre la temperatura de los días evaluados (9) y horas del día, juntamente con la activación del sistema. La temperatura B o 1 detalla la activación del sistema.	52
Figura 15. Apertura de cortina en el invernadero semiautomatizado.	53
Figura 16. Temperatura promedio por invernadero y rangos.....	60
Figura 17. Comportamiento de la temperatura promedio para cada invernadero, durante la fase de campo.	61
Figura 18. Humedad relativa promedio por invernadero y rangos.	63
Figura 19. Comportamiento de la humedad relativa promedio para cada invernadero, durante la fase de campo.....	64
Figura 20. Comparación de temperaturas en los diferentes invernaderos detallado por horas, donde L.S representa el límite superior permisible establecido en el algoritmo (28 °C).	65
Figura 21. Comparación de datos microclimáticos correspondientes a humedad relativa, datos analizados por horas.	66
Figura 22. Comparación de alturas de plantas por semana en el invernadero semiautomatizado y convencional.	68
Figura 23. Altura de plantas invernadero convencional.	69



Figura 24. Altura de plantas invernadero semiautomatizado.	69
Figura 25. Gráfico comparativo sobre características agronómicas del cultivo, correspondiente a cantidad de cuajado de frutos en las semanas de estudio.....	70
Figura 26. Comparación de medias para características agronómicas, correspondiente a conductancia estomática, entre los diferentes invernaderos (semiautomatizado y convencional).	72
Figura 27. Cantidad de tomates obtenidos durante las primeras cosechas con valor $p < 0,05$ en los dos invernaderos estudiados.	73
Figura 28. Estado de tomate cosechado.	73
Figura 29. Resultados de análisis de suelos.....	81
Figura 30. Resultados de análisis de suelos.....	82
Figura 31. Estado inicial del invernadero.....	83
Figura 32. Preparación de suelo.....	83
Figura 33. Siembra y pruebas de riego por goteo en las parcelas.	84
Figura 34. Pruebas de apertura y cierre de cortina.....	84
Figura 35. Plantas de tomate en crecimiento.....	85
Figura 36. Toma de datos de Temperatura y Humedad relativa.	85
Figura 37. Manejo agronómico del cultivo (tutoreo).	86
Figura 38. Diseño eléctrico del prototipo.	87
Figura 39. Programación del prototipo.....	88
Figura 40. Programación del prototipo.....	89
Figura 41. Hongos encontrados en plantas del invernadero convencional T2 (<i>Oidium</i> sp).	90
Figura 42. Frutos cuajados.....	91
Figura 43. Frutos maduros.	92
Figura 44. Manejo agronómico del cultivo (deshoje).....	93
Figura 45. Toma de datos del cultivo (conductancia estomática).....	94
Figura 46. Toma de datos de Alturas de las plantas.	95
Figura 47. Organización de datos de Temperatura, clasificados por horas.....	96
Figura 48. promedio general de humedad relativa por hora.	97
Figura 49. promedio general de temperatura por hora.....	98
Figura 50. Datos agronómicos del cultivo.....	99



Abreviaturas y simbología

%: Porcentaje

°C: Grados centígrados

cm: Centímetro

m: Metro

CO₂: Dióxido de carbono

ms.n.m: Metros sobre el nivel del mar.

m²: Metro cuadrado

mm: Milímetro

C.E: Conductividad Eléctrica

S/m: Siemens/metro

Lb: Libra

Gr: Gramo

g/L: Gramo sobre Litro

ml: Mililitro

cc: Centímetro Cúbico

lt: Litro

HR: Humedad Relativa

T: Temperatura

DDS: Días después de la siembra



Cláusula de Propiedad Intelectual

Luis Miguel Villavicencio Flores, autor/a del trabajo de titulación EVALUACIÓN DE PARÁMETROS MICROCLIMÁTICOS EN CONDICIONES AUTOMATIZADAS EN EL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) BAJO INVERNADERO", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 25 de noviembre de 2021

Luis Miguel Villavicencio Flores

C.I: 0103975090



Cláusula de Propiedad Intelectual

Edgar Rafael Zhumi Guiracocha, autor/a del trabajo de titulación EVALUACIÓN DE PARÁMETROS MICROCLIMÁTICOS EN CONDICIONES AUTOMATIZADAS EN EL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) BAJO INVERNADERO", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 25 de noviembre de 2021

Edgar Rafael Zhumi Guiracocha

C.I: 0105743439



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Luis Miguel Villavicencio Flores en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "EVALUACIÓN DE PARÁMETROS MICROCLIMÁTICOS EN CONDICIONES AUTOMATIZADAS EN EL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) BAJO INVERNADERO", 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, 25 de noviembre de 2021

Luis Miguel Villavicencio Flores

C.I: 0103975090



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Edgar Rafael Zhumi Guiracocha en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "EVALUACIÓN DE PARÁMETROS MICROCLIMÁTICOS EN CONDICIONES AUTOMATIZADAS EN EL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) BAJO INVERNADERO", 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, 25 de noviembre de 2021

Edgar Rafael Zhumi Guiracocha

C.I: 0105743439

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera muy especial a nuestra directora, Ingeniera Lourdes Díaz, quien ha sido un constante apoyo para la culminación de este trabajo, a pesar de muchos obstáculos, y sin duda una gran guía en este proyecto, gracias por toda su dedicación, humanidad, confianza, por creer en nosotros y motivarnos a culminar esta meta.

A nuestra alma máter, Universidad de Cuenca con su facultad de Ingeniería Agronómica, por habernos formado y preparado como profesionales y a todos nuestros profesores quienes nos supieron enseñar el valor de la carrera, más allá aspecto académico, un agradecimiento especial a: Ing. Eduardo Chica, Ing. Edison Timbe, Ing. Pablo Borja, Ing. Iván Belesaca, Dra. Rosalía Moscoso e Ing. Luis Minchala, quienes, han sido un apoyo no solo a la culminación de nuestra carrera, sino desde su inicio, son su apoyo profesional tanto como personal y humanitario.

A la Sra. Martha Guiracocha, por su apoyo desinteresado a este proyecto y por permitirnos realizarlo en su propiedad, a todos los amigos y familiares que insistieron siempre en vernos culminar este gran logro.

Luis Miguel Villavicencio, Rafael Zhumi.



DEDICATORIA

Dedico este trabajo de manera muy especial a mi padre Antonio Villavicencio quien fue la inspiración y generó el orgullo de llevar su profesión en mis manos, a mi querida madre Mariana Flores, Esthela Flores, las que nunca dejaron ni dejarán de ser mis pilares fundamentales, a mis hermanos Ana María y Juan Carlos, a toda mi familia y amigos más cercanos, quienes siempre se preocuparon por verme lograr este proyecto, siempre apoyándome y levantándome en los momentos que más necesité.

Luis Miguel Villavicencio Flores.



DEDICATORIA

Lleno de regocijo, amor y esperanza dedico este proyecto a cada uno de mis seres queridos, quienes han sido mis pilares para seguir adelante.

A mi padre, Humberto Zhumi quien con su ejemplo, esfuerzo, trabajo y preocupación consiguió inspirar mi meta profesional.

A mi madre, Martha Guiracocha de manera especial por ser la persona quien ha guiado mi vida y por quien hoy soy un profesional, eternamente agradecido por su infinita paciencia y amor incondicional, me enseñaste que un abrazo tuyo lo resuelve todo, gracias por ser la inspiración de mi vida.

A mis hermanos, Xavier y mención especial para Elizabeth a quien he admirado a lo largo de mi vida, y quien me enseñó que rendirse no es una alternativa, siendo ella quien me dio el regalo mas importante en mi vida y quien con su alegría y locura a hecho de este recorrido, el mejor, mi sobrino Joseph Alejandro.

Edgar Rafael Zhumi Guiracocha



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Los objetivos de la agricultura de precisión apuntan a fortalecer la sostenibilidad social, ambiental y económica de los productores de una región, mientras que la agricultura tradicional consideraba el campo como un espacio similar, hoy en día se ha estudiado al suelo que consideramos para su producción no solo factores ambientales, sino también los de crecimiento poblacional, limitación de recursos, entre otros, que representan grandes desafíos para la productividad agrícola haciendo necesario proponer soluciones efectivas e innovadoras; la agricultura de precisión es la aplicación de tecnologías y principios para el manejo de la variabilidad espacial y temporal asociada a todos los aspectos de la producción agrícola con el propósito de mejorar la productividad del cultivo y la calidad ambiental (Robert, 2002).

Dentro de un invernadero, que es un espacio con un microclima apropiado para el desarrollo de un cultivo, en el que se deberá tener en cuenta condiciones de temperatura, humedad relativa, riego y ventilación para lograr alcanzar productividad idónea a costos reducidos en un tiempo menor, se podrá proteger al cultivo de lluvias, plagas y vientos no deseados, considerados perjudiciales para cultivos de importancia productiva (Barrera, E.; Herrero, R.; Menraz, A., 2014).

La luminosidad y temperatura tienen un papel importante dentro de un invernadero, al mantener dichos parámetros en rangos óptimos para el cultivo de tomate, permite que exista una producción uniforme en el cultivo, lo que se presenta en mejores réditos para el productor (Caldari, 2007).



CAPÍTULO II: OBJETIVOS

2.1 Objetivo general del proyecto

Evaluar la fluctuación de parámetros microclimáticos bajo condiciones de automatización en el cultivo de tomate riñón bajo invernadero.

2.2 Objetivos específicos

1. Comprobar el desempeño del algoritmo en el control de los parámetros del microclima.
2. Analizar la respuesta de los parámetros microclimáticos (Temperatura, Humedad Relativa).
3. Analizar los aspectos agronómicos del cultivo de tomate riñón (tasa de crecimiento, cantidad de frutos cuajados en el cultivo).



CAPÍTULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 INVERNADERO

3.1.1 DEFINICIÓN DE INVERNADERO

Es un espacio con el microclima apropiado para el crecimiento adecuado de un cultivo específico (Barrera, E.; Herrero, R.; Menraz, A., 2014).

Sciutto y Mascareña, (2020), señalan que la producción de cultivos bajo invernadero es una de las técnicas más modernas que se utilizan actualmente en la producción agrícola. Un invernadero provee un ambiente apropiado, tanto en el suelo como en el aire, para el cultivo de especies vegetales, funciona como una cubierta que protege al cultivo de las condiciones climáticas externas.

Las razones principales o las más significativas que llevan a cultivar en invernaderos son el proveer un microclima especial para el mejor crecimiento de los cultivos, lograr extender los tiempos de producción, pero también proteger a los cultivos de las inclemencias del tiempo (Cádiz, 2019).

3.1.2 IMPORTANCIA

En un invernadero convencional y un sistema manual de ventilación, una persona puede tardar demasiado tiempo realizando tareas de apertura y cierre de cortinas, si lo analizamos en un contexto fisiológico esto hace que a diario se consuman recursos de energía y uso de personal en los tiempos que tardaría el desplazamiento de la persona y obviamente la mala ventilación interna del invernadero recayendo en problemas de estrés en las plantas y en el peor de los casos, en enfermedades de las mismas.

Una de las tecnologías que ha causado impacto en la productividad agrícola es el hardware y software libre orientados al modelo “hazlo tú mismo” que da la oportunidad de ser los propios creadores de productos a bajo coste y con grandes beneficios como los que presentan las innovaciones tecnológicas que giran en torno a Arduino que está direccionado a la agricultura de precisión; que además pone sus esfuerzos en mitigar los altos costos que puede generar la industria de la agricultura y la gran cantidad de recursos que consume.

3.1.3 TIPOS DE INVERNADERO

Novagric, (2019), menciona que existen varias formas en las que se podría numerar para clasificar los tipos de invernaderos existentes; Según el rango de temperaturas, tenemos invernaderos fríos, templados y cálidos, también se pueden clasificar según su estructura y su forma, como por ejemplo los de tipo parral, asimétrico, túnel, capilla.

3.1.3.1 INVERNADERO DE CAPILLA

Los invernaderos de capilla simple poseen la techumbre formando uno o dos planos inclinados. Se utilizan bastante principalmente por su facilidad de construcción y conservación, también es muy aceptable para la colocación de todo tipo de plástico en la cubierta, una de las grandes ventajas es la facilidad para evacuar el agua de lluvia y también la ventilación es por ventanas frontales y laterales. El invernadero capilla proporciona una óptima transmisión de luz y una buena ventilación tanto lateral como cenital. Además, la escasez de obstáculos dentro de la estructura permite una buena movilidad dentro del invernadero (Globalinvernaderos., 2020).



Figura 1. Invernadero de capilla.

Fuente: (Barrera, E.; Herrero, R.; Menraz, A., 2014).

3.1.3.2 INVERNADERO DE DOBLE CAPILLA

Los invernaderos de doble capilla están formados por dos naves yuxtapuestas. Su ventilación es mejor que en otros tipos de invernadero, debido a la ventilación cenital que tienen en cumbre de los dos escalones que forma la yuxtaposición de las dos naves; estas aberturas de ventilación suelen permanecer abiertas constantemente y suele ponerse en ellas malla mosquitera. Además, también poseen ventilación vertical en las paredes frontales y laterales. Este tipo de invernadero no está muy extendido debido a que su construcción es más dificultosa y cara que el tipo de invernadero capilla simple a dos aguas (Larrazabal, 2020).

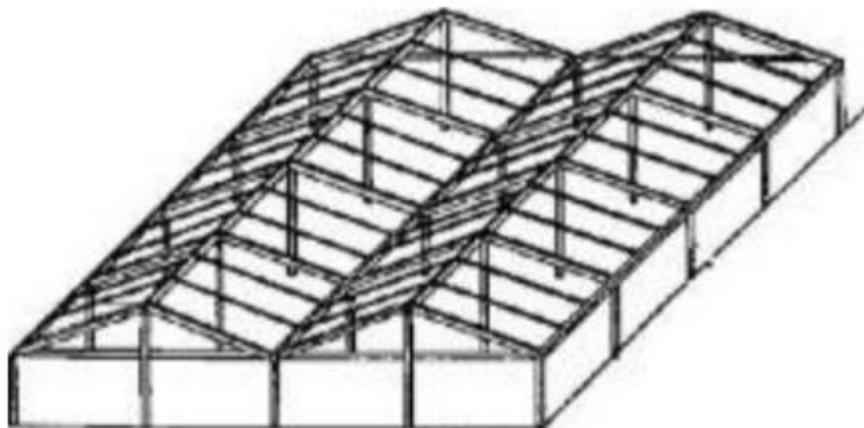


Figura 2. Invernadero de doble capilla.

Fuente: (Barrera, E.; Herrero, R.; Menraz, A., 2014).

3.2 SELECCIÓN DEL SITIO

Los invernaderos por lo general no pueden ser copias improvisadas de otros invernaderos, sino el resultado de un análisis puntual de las condiciones climáticas del lugar y el microclima que debe proveerse al cultivo (Marín, 2013).

Para construir un invernadero debemos elegir el terreno considerando la exposición al sol al igual que el número de horas en las que recibe luz en ese lugar, tomando en cuenta la dependencia fotoperiódica de las plantas para la ordenación de sus funciones biológicas, esta área no debe estar expuesta a inundaciones. Se debe elegir suelos nivelados, con un buen drenaje, exentos de posibles anegamientos por aguas lluvias o desbordes de canales.



Evitar los suelos en donde exista mucha humedad relacionada al nivel freático. Contar con una fuente de agua, punto de energía eléctrica cercana es de mucha importancia para proveer una cantidad y calidad en un bombeo de agua de riego y una iluminación necesaria. Considerar una distancia aproximada de 6m entre un invernadero y otras construcciones para evitar problemas como sombreo, entradas y salidas del aire al invernadero, también evitar zonas con mucha neblina por su luminosidad baja, que estén protegidos de vientos fuertes que puedan dañar la cubierta de polietileno (Marín, 2013).

3.2.1. ORIENTACIÓN

Dentro de las características para la orientación de un invernadero es importante la geografía que se debe dar, es ideal permitir recibir mayor iluminación (orientación de este a oeste), la disposición del terreno, los vientos dominantes y la forma del invernadero van a condicionar su orientación y la disposición de las líneas de cultivo. Las líneas de cultivo deben situarse norte-sur para evitar la proyección de sombra de unas sobre otras y que sobre todas ellas incida la misma cantidad de radiación solar a medida que el sol se desplaza a lo largo del día. De esto también dependerá la colocación de la cortina para la ventilación del invernadero, tema muy importante en la instalación de un invernadero para producción de tomate de mesa y otros cultivos (Serrano, 2005).

3.3 RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN INVERNADERO

3.3.1. ALTURA RECOMENDABLE DEL INVERNADERO

Para Basaure, (2004), no se requiere una altura superior a los 3.5 metros, considerando aspectos técnicos referidos a humedad y ventilación. Una altura recomendable está entre 3.5 y 2.5 metros en la parte central y de 1.8 a 2.0 metros en los laterales.

Existen varios métodos y técnicas en la construcción de invernaderos, una de las más efectivas o la que ha dado mejores resultados es aquella que permite alcanzar 3 metros cúbicos por cada metro cuadrado de superficie. En estos ambientes se logra un mejor desarrollo de los cultivos como tomates. Si bien se va a necesitar una mayor calefacción interior (acorde al manejo, ubicación, etc.), el calor se conservará por más tiempo dentro del invernadero. En zonas con temperaturas altas y bajas velocidades de viento, para mejorar el flujo de ventilación, se recomienda orientar el invernadero de forma tal que la



ventana lateral quede perpendicular a la dirección predominante del viento de la localidad y la apertura de la ventana cenital opuesta a esa dirección (Marín, 2013).

3.3.2. ÁREA DE LAS VENTANAS

El área de las ventanas es importante, especialmente con la adopción de sistemas de exclusión de insectos, por lo que se recomienda una relación: $\text{ÁREA DE VENTANA} / \text{ÁREA DEL SUELO} \geq 25 \%$. Así se evita el desarrollo de enfermedades en los vegetales. Muchas veces la pendiente del terreno (topografía) decide la orientación de la nave. En los suelos planos es importante considerar la dirección de los vientos predominantes, debiendo orientarla hacia aquella que presente menos resistencia (Marín, 2013).

3.4 PARÁMETROS DE CONTROL DENTRO DE UN INVERNADERO

3.4.1. TEMPERATURA EN INVERNADEROS

Para FAO (2002), la temperatura afecta directamente las funciones de fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y nutrientes, transpiración, actividades enzimáticas. Es uno de los factores más importantes en el desarrollo de las plantas. Por eso, una de las principales ventajas de los invernaderos es la posibilidad de crear las condiciones climáticas que más acomoda a los cultivos, previniendo los daños por bajas temperaturas.

Reyes (2018), habla sobre los factores que permiten reducir la temperatura en un invernadero, los más importantes serían la reducción de la radiación solar que llega al cultivo, la evapotranspiración del cultivo, también la ventilación del invernadero y la refrigeración por evaporación de agua.

3.4.2. VENTILACIÓN DE INVERNADEROS

Cuando el costo de los cultivos y cosechas lo justifique es conveniente contar con equipos calefactores que produzcan una buena distribución del calor y que no provoquen contaminación por acumulación de gases, y de equipos de climatización durante los períodos o zonas muy cálidas. No es fácil refrigerar el invernadero sin invertir altas cantidades en instalaciones y equipos (Reyes, 2018).

La ventilación es un tema de mucha importancia, tanto para expulsar el aire caliente como para hacer que circule dentro de la nave, a la hora de evitar plagas y enfermedades. La ventilación que se genera en un invernadero logra el descenso de temperatura, una mejor



oxigenación para un rápido desarrollo del cultivo. Normalmente la apertura automática se realiza con ayuda de sensores y actuadores. Sea cual fuere su diseño o tipo, pues es de esencial influencia en los resultados que tengamos en el cultivo. El aumento, la disminución o cambio brusco de temperatura dentro del invernadero afectará significativamente al cultivo y perjudicará la salud y calidad de las plantas, y en muchos de los casos puede dificultar la tarea del personal (Montero, Antón, & Muñoz, 2010).

Las aberturas de ventilación pueden estar controladas manualmente o de manera automática. La ventilación natural puede ayudar o ser eficaz solo hasta ciertas longitudes, pero esto dependerá mucho de las condiciones climáticas externas (Barrera, E.; Herrero, R.; Menraz, A., 2014).

El sistema de ventilación es el factor clave a considerar porque impacta directamente sobre las condiciones climáticas producidas dentro de la estructura y consecuentemente, en el desarrollo del cultivo. La ventilación de los invernaderos depende de la estructura del propio invernadero; un mal diseño de este puede crear problemas de "estratificación" debido a fenómenos de transferencia de energía, como el flujo de energía por convección, circulando a través del cultivo. En invernaderos pasivos (ventilación natural), un sistema de ventilación eficaz aunado con la propia evapotranspiración del cultivo, pueden ser suficiente para mantener niveles de temperatura y humedad del aire aceptables durante buena parte del año (Flores. J & Villareal. F, 2015).

La ventilación natural es el método de refrigeración más utilizado para reducir la temperatura del aire durante los días de alta insolación en los invernaderos tradicionales, así lo afirman en varios años, autores como; (Boulard y Baille, 1995; Montero *et al.*, 1996; Papadakis *et al.*, 1996; Kittas *et al.*, 1997; Kittas, 2000). Sin embargo, vientos con bajas velocidades, la presencia de mallas anti-insectos (sarán), entre otros factores, reducen la eficiencia del sistema de ventilación natural y entonces es necesario recurrir a la ventilación forzada o mecánica (Flores. J & Villareal. F, 2015).

3.4.3. HUMEDAD DE INVERNADEROS

Es uno de los factores más importantes dentro del manejo de un invernadero, porque el mal control puede influir negativamente en los cultivos. La humedad es la masa de agua en unidad de volumen, o en unidad de masa de aire. La humedad relativa es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la

misma temperatura. La mayoría de las plantas prefieren una humedad relativa del aire entre el 45 % y el 60 %. Se coloca un higrómetro para conocer la humedad relativa del aire. Al sobrepasar esta HR se produce una afección al cultivo y a su producción respectivamente, esto repercute en una baja de producción por pérdida del producto, más comúnmente por enfermedades (Marín, 2013).

3.5 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PARA LA ESTRUCTURA

La estructura del invernadero puede ser metálica con perfiles angulares o de tubos redondos. Hay de madera sola, o de madera y alambre. También de tubos de PVC o de concreto. La decisión de cuál será el tipo de invernadero a construir, dependerá del presupuesto disponible. Pero la más utilizada es la de hierro galvanizado (Marín, 2013).

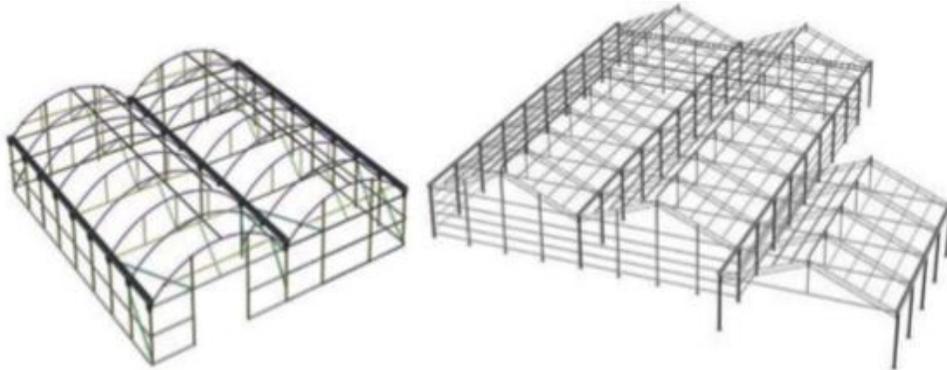


Figura 3. Estructura de invernaderos.

Fuente: (Horticultivos, 2017).

3.6 MICROCLIMA

Es un entorno o ámbito reducido que tiene diferentes condiciones ambientales a las encontradas en la misma área como se observa en la Figura 4.

Técnicamente, hablamos del conjunto de las condiciones climáticas particulares de un lugar determinado, resultado de una modificación más o menos acusada y puntual del clima de la zona en que se encuentra influido por diferentes factores ecológicos y medioambientales (Guerrero, 2012).

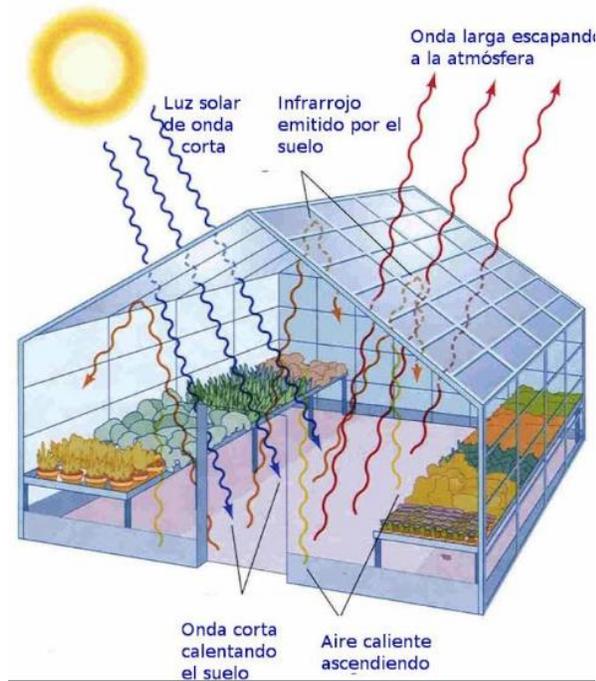


Figura 4. Microclima al interior de un invernadero.

Fuente: (Agrotendencia., 2019)

3.6.1. EXIGENCIAS BIOCLIMÁTICAS DEL CULTIVO

El cultivo de tomate de mesa tiene algunas exigencias que varían de acuerdo con la variedad o zona geográfica en donde se realizará la producción, entre las principales se encuentra la temperatura los rangos óptimos de crecimiento y desarrollo son alrededor de 25 °C, la temperatura óptima es entre 12 °C y 25 °C, su humedad relativa óptima es 65 % a 70 %, el pH óptimo en los nutrientes para la producción del tomate es entre 6.0 y 6.5, este último regulará el consumo de todos los nutrientes del suelo para que sean aprovechables o no por las plantas (Agromática., 2021).



Aunque para Martínez (2007), el cultivo de tomate tolera moderadamente la acidez en el suelo; puede llegar a un pH de hasta 5.5, aunque sugiere que el pH ideal del suelo para el cultivo es de 6.0 a 6.8. Pero los niveles de pH menores de 5.5 pueden afectar la disponibilidad de algunos nutrimentos.

3.7 SISTEMAS APLICADOS EN LOS INVERNADEROS

Dentro de los principales sistemas aplicados en un invernadero se tienen principalmente un **sistema manual**, que consiste en aquellos invernaderos que requieren en su totalidad de ayuda humana para el cultivo de la planta, realizando actividades como apertura de ventanas, riego, suministro de nutrientes para el crecimiento de la planta y dependencia de la energía solar transmitida. **Un sistema semiautomático**, que posee parcialmente una automatización, ya sea el control de temperatura, la humedad o la iluminación, sin embargo, aún requiere de la ayuda humana dentro del invernadero para el cultivo de la planta, y un **sistema automático**, aquel invernadero que posee un sistema de control de temperatura, control de humedad, control de CO₂ y riego de manera que el humano únicamente supervisa el funcionamiento y el desarrollo de la planta (Barrera, E.; Herrero, R.; Menraz, A., 2014). Según NOVAGRIC (2016), con este método el invernadero es capaz de adelantarse a las necesidades climatológicas de cualquier tipo de plantación, así como controlar los diferentes factores climáticos (la ventilación, la calefacción, las pantallas térmicas o de sombreado, la humidificación.)

3.8 PROTOTIPO

Podríamos llamar un prototipo a una simulación o una implementación parcial pero específica de un sistema o parte de un sistema, se crean para de una manera interactiva explorar o probar si el flujo de interacción es adecuado o acorde al sistema que se pretende comprobar o si este necesita correcciones o mejoras. Los prototipos permiten explorar posibles mejoras o ideas nuevas que se puedan presentar para perfeccionar un proyecto (Universa, 2016).

3.9 ALGORITMO

Un algoritmo se puede comprender como un conjunto de operaciones o una secuencia de instrucciones que, realizadas en un orden específico, nos permiten encontrar una solución a un problema (RAE., 2020)



3.10 MONITOREO AMBIENTAL

Entiéndase como monitoreo “un sistema continuo de observación de mediciones y evaluaciones para propósitos definidos”. El Monitoreo Ambiental se comprende como procesos de observación repetitiva, con objetivos definidos, relacionados con uno o más elementos del ambiente, de acuerdo con un plan temporal. Actualmente, el Monitoreo Ambiental recurre a diversas técnicas de Diagnóstico, complementarias entre sí, como: monitoreo de efectos biológicos con ensayos de toxicidad, monitoreo biológico de campo, medición de parámetros climáticos, entre otros (Espinosa, Villavicencio, & Diaz, 2013).

3.11 SENSORES DE TEMPERATURA

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar diferentes tipos de materiales, con el objetivo de mandar una señal y permitir que continúe un proceso, o bien detectar un cambio; dependiendo del caso que éste sea. Es un dispositivo que, a partir de la energía del medio, proporciona una señal de salida que es función de la magnitud que se pretende medir.

Exactitud: La exactitud es la cualidad o grado de un instrumento de medida de dar una lectura próxima al verdadero valor de la magnitud medida. En otras palabras, es el grado de conformidad de un valor indicado a un valor estándar aceptado o valor ideal, considerando este valor ideal como si fuera el verdadero. El grado de confiabilidad independiente es la desviación máxima entre la curva de calibración de un instrumento y una curva característica específica, posicionada de modo tal que se reduce al mínimo dicha desviación máxima.

Precisión: La precisión de la medición debe ser tan alta como fuese posible. La precisión significa que existe o no una pequeña variación aleatoria en la medición de la variable. La dispersión en los valores de una serie de mediciones será mínima.

La importancia de medir la temperatura en varios procesos es de vital importancia, debido a que muchos materiales o procesos requieren llegar a cierto rango de temperatura, por lo tanto, si llega a exceder, o no alcanza dicho rango, el material o proceso puede salir defectuoso, o no cumple con las normas establecidas, por lo tanto, representa una pérdida monetaria a las empresas (Rodríguez. R, 2019).



3.12 ARDUINO EN LA AGRICULTURA

3.12.1 ¿QUÉ ES UN MICROCONTROLADOR?

Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las ordenes grabadas en su memoria (Barrera, E.; Herrero, R.; Menraz, A., 2014).

Arduino es una plataforma basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos relativamente sencillos. Se propuso para dar solución a problemas de la vida real, orientado hacia el sector agropecuario, directamente con proyectos de cultivos en invernaderos. Sabiendo que la automatización es la capacidad de un sistema para llevar a cabo determinadas tareas sin intervención antrópica.

Barrera et al. (2014), realizaron un trabajo en donde hablan de un proyecto de automatización de un invernadero, haciendo uso de la tecnología Arduino y así conocer las bondades de producción de un invernadero inteligente, también en el control de temperatura y humedad. Buscando, en unos de sus objetivos, dar una solución práctica a los problemas que presentan los invernaderos manuales, también hablan sobre el sistema ARDUINO, que es una herramienta para hacer que los ordenadores puedan sentir y controlar el mundo físico a través de un ordenador personal. Es una plataforma de desarrollo de computación física de código abierto (open-source), basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar, una placa con un sencillo microcontrolador y un entorno de desarrollo para crear software para la placa a utilizar. El microcontrolador de la placa se programa usando el Arduino Programming Language (basado en Wiring) y el Arduino Development Environment (basado en Processing). Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador (por ejemplo, con Flash, Processing, MaxMSP, etc.). Se han realizado varios proyectos en Arduino orientados a la agricultura de precisión.

El hardware libre como tal presenta algunas desventajas en su uso, pero más son las ventajas que hacen que su aplicación sean idóneos como semilleros de innovaciones tecnológicas. Basado en las ventajas que presentan como hardware libre, se hace una recopilación de las innovaciones tecnológicas más relevantes, que se han constituido en significativos avances para una agricultura de precisión (Chora, Álvarez, & Espinoza, 2018).

3.13 SISTEMA DE MANEJO CONVENCIONAL

Clavijo, (2013), menciona que el manejo de sistemas de producción convencional surge con la llegada de la revolución verde, lo que hoy en día se conoce como la agricultura convencional, misma que se basa en dos principios, el maximizar la producción y las ganancias económicas.

En el mismo contexto, Toledo, (2003) habla de que la estructura de un invernadero para una producción convencional debe tener una ventilación cenital fija y ventilación perimetral con mallas. Las cubiertas en techumbres son de polietileno y ventanas con malla antiáfidos.

CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. MATERIALES

Para la evaluación de los parámetros microclimáticos registrados, se utilizó los siguientes materiales y equipos (Tabla 1).

FÍSICOS	QUÍMICOS	BIOLÓGICOS
Computadora	Diman	Planta de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) variedad Pietro
Microcontrolador Arduino uno	Tryclan	Agua
Pantalla LCD 4x16	Sulfato de potasio	Suelo
Teclado matricial	Nitrato de potasio	
Sensores de temperatura y humedad relativa DHT11	A-Salt	
Rieles metálicos	Regulador de pH	
Motor paso a paso	Agroka	
Bomba de fumigación	Calcio-Boro	
Libreta de campo	Boro-Zinc	
Tanque de reserva de agua	Belt	
Mangueras de distribución de riego		
Piola para tutoréo		
Alambre para tutoréo		
Plástico de invernadero		

Tabla 1. Materiales utilizados para el proyecto.



4.2. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

La zona de estudio se ubica dentro del sector de Ingapirca, en la parroquia Santa Ana, a una altitud de 2794 ms.n.m., en un invernadero con una extensión de 330 m². (Figuras 5, 6, 7).

4.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS ASPECTOS ECOLÓGICOS

La parroquia de Santa Ana presenta pendientes variadas de medias a fuertes en la mayor parte de su territorio, las pendientes medias varían de 8 % a 30 % y esto representa un 72.76 % de su territorio, a diferencia de las pendientes mayores a 30 % que representa un 19.75 % de la parroquia. La parroquia en general presenta suelos poco profundos y erosionados. La precipitación se encuentra entre los 700 mm y 900 mm anuales, siendo los meses más secos en julio a agosto y marzo a abril los meses más lluviosos. Existe una HR que varía del 65 % al 85 % y la duración de la insolación fluctúa de 1.000 a 2.000 horas anuales (PDOT SANTA ANA, 2014)

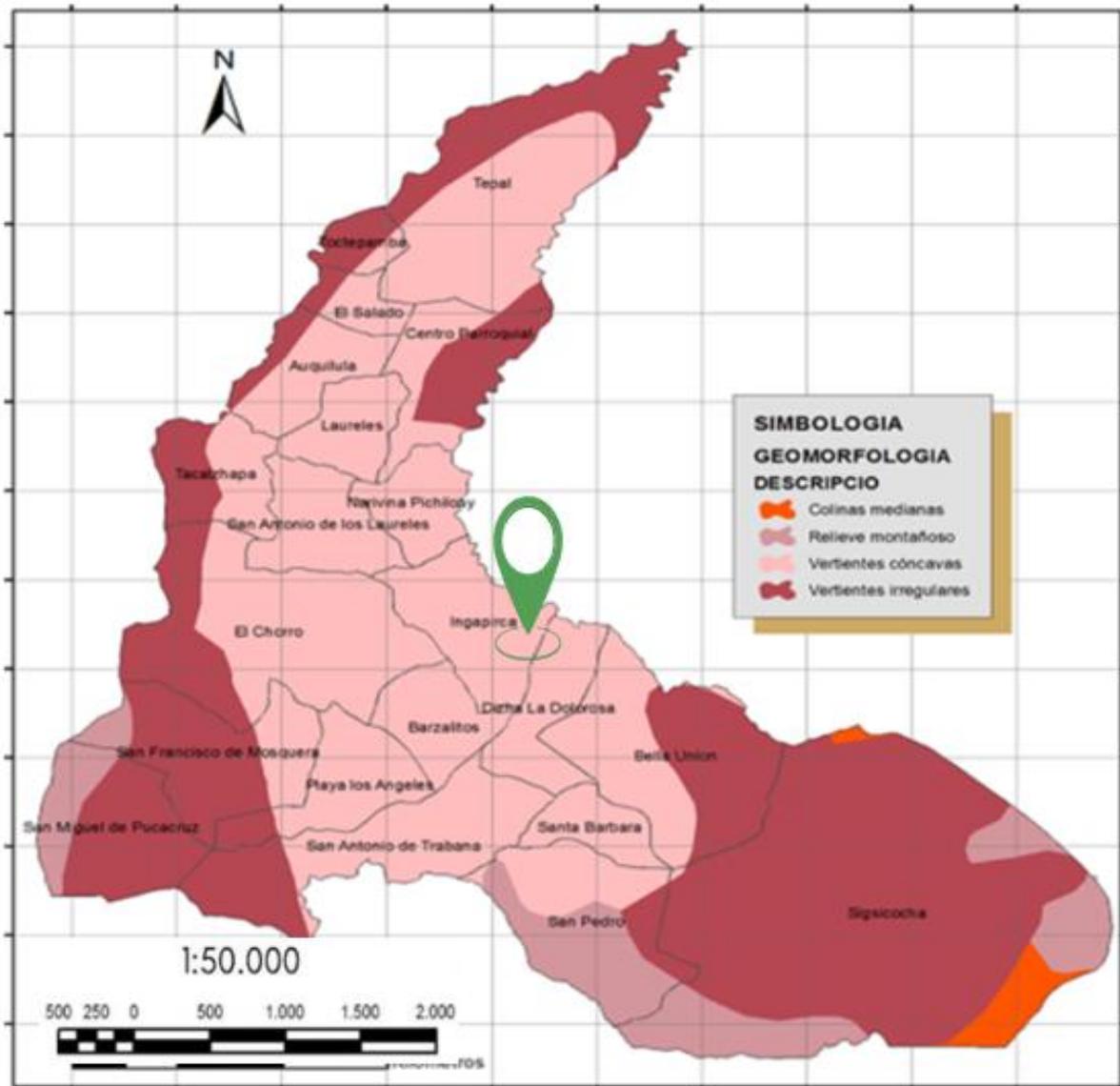


Figura 5. Delimitación de la parroquia Santa Ana.

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Cuenca.

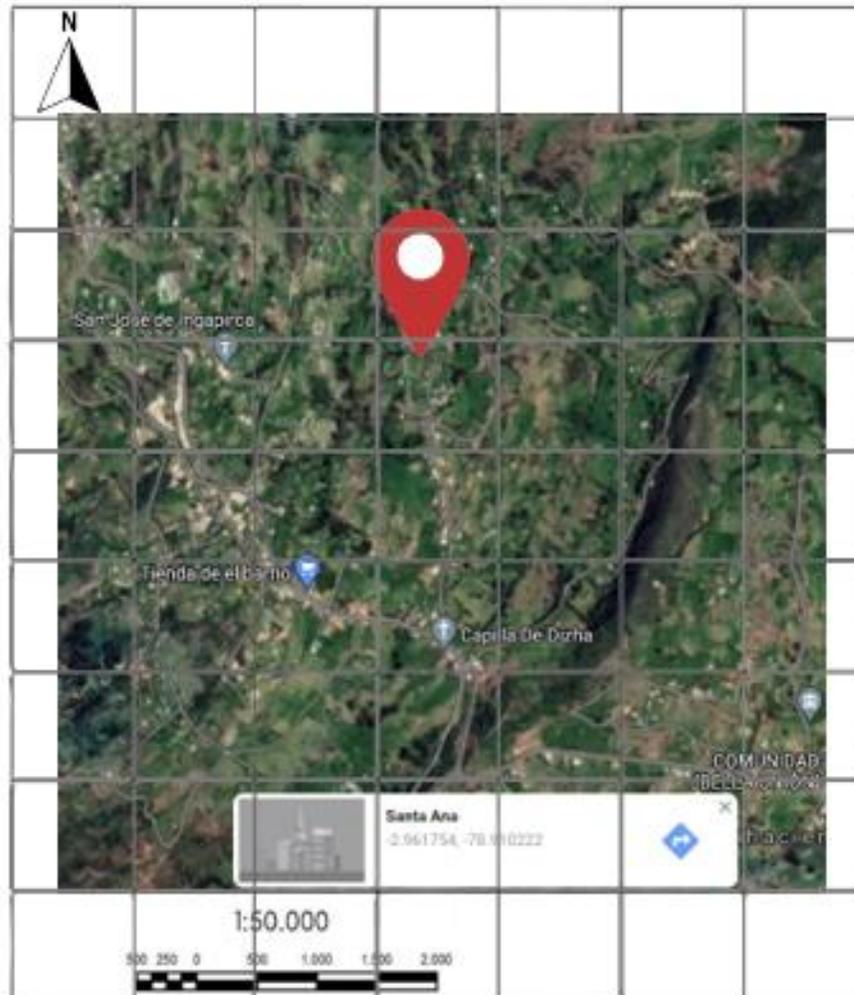


Figura 6. Sitio de Estudio en donde se encuentra ubicado el Invernadero.

Fuente: IGM Google maps 2021 CNES.

Elaborado por: Villavicencio L; Zhumi R 2021

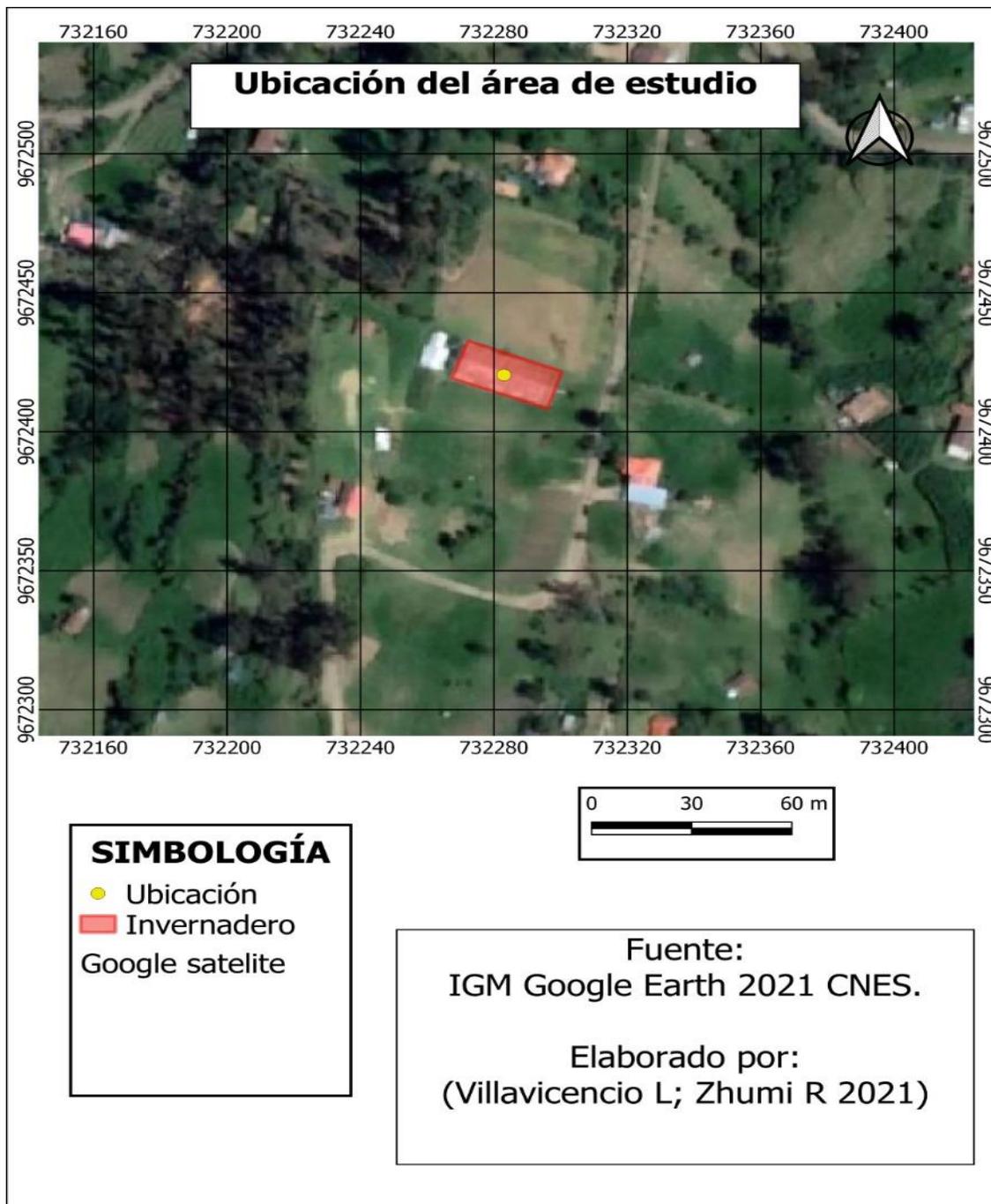


Figura 7. Ubicación del área de estudio.



4.4. ESTABLECIMIENTO DE ÁREAS DEL ESTUDIO

El presente estudio se realizó en la parroquia Santa Ana, en un invernadero ya establecido previamente. Se inició con la readecuación del invernadero y las divisiones al interior del mismo. Se realizó también un análisis de suelo para determinar su estado y la correspondiente fertilización inicial.

El área total de estudio fue de 330 m², para el monitoreo de la temperatura y humedad relativa se utilizó 3 prototipos, que fueron establecidos al interior y exterior del invernadero.

4.5. DESCRIPCIÓN DEL INVERNADERO

4.5.1. ESTRUCTURA DEL INVERNADERO

La elección del invernadero toma varios aspectos de vital importancia para la elaboración del proyecto, se decidió tomar un invernadero tipo capilla simple (Figura 1), esto dado a que ya se tenía una estructura previamente establecida en el sitio, con lo que se realizó una reconstrucción y adecuación del sistema en el invernadero.

El invernadero en el que se realizó el proyecto es de construcción de madera y plástico, tiene 13 m de ancho por 26 m de largo, se realizó una división física del invernadero por la mitad con plástico de invernadero para realizar los dos tratamientos, uno en cada subdivisión. Cada subdivisión tiene 9 camas con mangueras de goteo para riego, el sistema de riego se estableció mediante un controlador Hunter de 4 salidas para asignar y controlar los tiempos riego, y una toma proveniente de un tanque reservorio de 500 lts de agua, que dirige a una toma principal subdividida con 4 llaves, estas distribuyen a las cintas de goteo, 2 por cada cama, con puntos de goteo a 20 cm cada uno y cada manguera a 30 cm de distancia. En cada bloque se sembraron 1126 plántulas de tomate doble eje, variedad Pietro, a una densidad de siembra de 0.20 m entre plantas por 1.50 m entre filas (Figura 8).

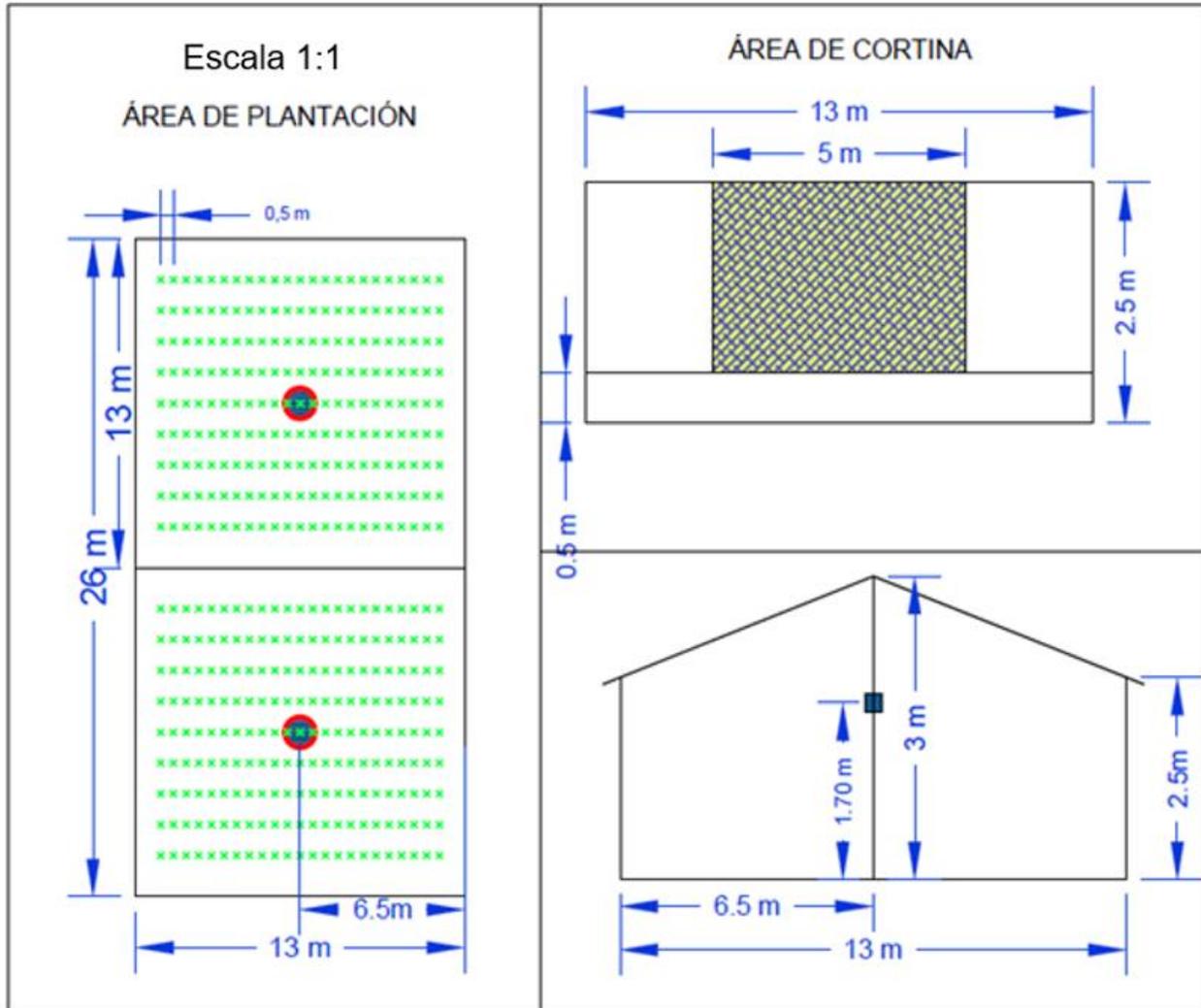


Figura 8. Diseño de cortina y estructura del invernadero, escala 1:1.

4.5.2 TIPO DE SUELO

El invernadero en donde se realiza el proyecto tiene un suelo tipo **Franco-arcilloso**, con un pH ligeramente ácido de 6.8, ideal para el cultivo de *Solanum lycopersicum*. C.E. de 0.53 Siemens/metro y 3.25 % de materia orgánica. (INIAP, 2019).

4.5.3. MANEJO AGRONÓMICO DEL CULTIVO

Se realizó la preparación de las camas para la siembra de las plántulas previamente adquiridas, las camas tuvieron 12 metros de largo por 1 metro de ancho.



Se realizó una aplicación de riego inicial en las camas por un tiempo de 2 horas, denominado riego de nivelación, antes de la siembra. Posteriormente se programó el riego mediante el controlador y se realizó revisiones semanales del sistema de riego, mangueras a fin de evitar fallos en el proyecto.

Nutrición. Previo al trasplante, se realizó un análisis de suelo realizado por INIAP (2019), (Tabla 2), este análisis presentó los siguientes resultados; pH: 6.8, nitrógeno: 13.47, fosforo: 120.88, potasio: 0.87. Con base en mencionados resultados, se realizó una corrección de nitrógeno en el suelo, aplicando 100 lb de nitrato de amonio (NO_3NH_4) de manera directa en las camas al momento de la preparación del terreno.

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS EN LABORATORIO					
Descripción	Cantidad	Unidades	Referencia	Interpretación	Corrección
pH	6.8		7	Parcialmente neutro	No
N	13.47	ppm	20-40	Bajo	Si
P	120.88	ppm	10-20	Alto	No
K	0.87	meq/100mL	0.2-0.4	Alto	No
Ca	21.43	meq/100mL	4-8	Alto	No
Mg	13.69	meq/100mL	1-3	Alto	No
M.O	3.25	%	3.10-5	Medio	No

Tabla 2 Resultados e interpretación de análisis de suelos.

(INIAP, 2019).

Posteriormente se realizó una fertiirrigación con nitrato de calcio a una dosis de 6 lb cada lunes por 1 mes, esto para tener una mayor carga nutricional en los frutos y también evitar el rajado, una buena nutrición en las plantas se traduce en una mayor calidad del fruto en postcosecha (Infocampo, 2016), también se utilizó nitrato de magnesio a una dosis de 5 lb cada sábado por 1 mes, el magnesio se utiliza para evitar trastornos en la maduración de los frutos, como frutos desparejos en la maduración, frutos irregulares, entre otros (Yara, 2021).

Adicionalmente se usó Duoplus (5 ml por litro de agua), que se caracteriza por ser promotor radicular y controlar nematodos; está compuesto por *Trichoderma harzianum* (1×10^9 UFC), *Paecilomyces lilacinus* (1×10^9 UFC), y ácidos húmicos (50 g/l). Además de una aplicación de carbonato de calcio en una dosis de 100 gr por planta al inicio de la cosecha debido a que el tomate variedad prieto demandan altas cantidades de calcio para formar pectina.

Control fitosanitario. El manejo de plagas y enfermedades se realizó bajo un enfoque de agricultura limpia y de manera preventiva en todo el ciclo del cultivo. El control de cada plaga y enfermedad que se presentó durante el experimento se detalla en la Tabla 3.

Nombre común	Nombre científico	Control
Minador y otros lepidópteros	<i>Tuta absoluta</i>	Belt (7 cc/20 lt de agua), semanalmente
Mancha negra	<i>Erwinia sp.</i>	Pyton (20 cc/20 lt de agua), cada 15 días
Botrytis	<i>Botrytis sp.</i>	Curzate (10 gr/20 lt de agua), cada 15 días alternado con Tryclan (5 cc/20 lt de agua.)
Cenicilla	<i>Oidium sp.</i>	Kasumin (50 cc/20 lt de agua), cada 15 días alternado con Diman (10 cc/20 lt de agua)

Tabla 3. Plagas y enfermedades que se presentaron durante la fase de campo.

4.5.4. ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL MICROCLIMÁTICO

El proyecto inició con la incorporación de los prototipos en campo (interior y exterior del invernadero), para el registro y control microclimático. Adicionalmente, se colocó el riego por goteo controlado con un equipo Hunter Pro-C de 4 salidas con 2 electroválvulas, cuya programación constaba de 30 minutos en la mañana a las 7 am y 20 minutos en la tarde a las 16 pm. El control y manejo agronómico del cultivo se realizó 2 veces por semana.

Los prototipos fueron establecidos en cada subdivisión del invernadero en estudio, sin embargo, en uno de ellos se colocó adicionalmente actuadores (motores) que permitieron la apertura y cierre de las cortinas conforme se registre las temperaturas, esta cortina tiene 5 m de largo por 2.50 m de alto. Dejando así una parte con un sistema semiautomatizado y otro con un sistema convencional para el desarrollo del cultivo, también en la parte exterior se colocó un prototipo para registro de los parámetros microclimáticos (temperatura y humedad relativa) que sirva de control como se muestra en la Figura 9.

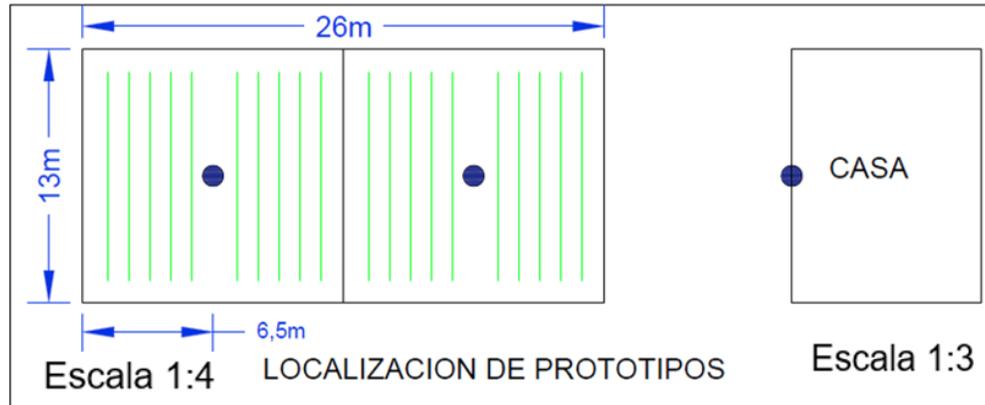


Figura 9. Distribución de prototipos en campo, escala 1:4,3

Posterior a la colocación del prototipo, el invernadero semiautomatizado generó un sistema de ventilación pasiva mediante el uso de sensores de temperatura y humedad relativa (DHT11) y actuadores (relé, motor paso a paso), cuyo principio se basa en una renovación de aire mediante cortinas colocadas en la parte lateral del invernadero. En el siguiente esquema se presenta la funcionalidad que cumple el prototipo (Figura 10).

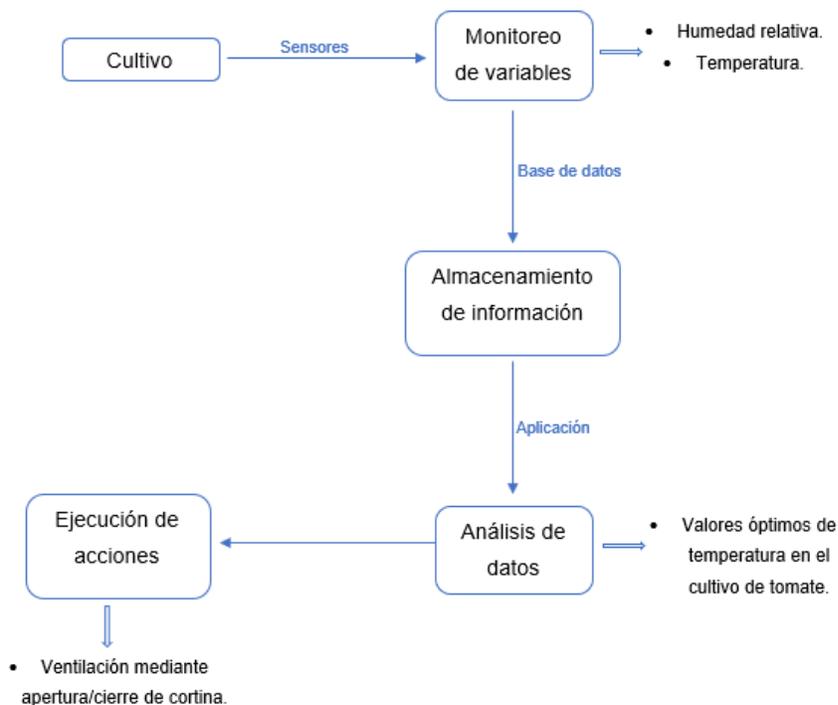


Figura 10. Diagrama de funcionalidad del prototipo.



Para determinar la apertura y cierre de la cortina se realizó un sistema mediante el uso de sensores de temperatura y humedad relativa, se registran las variaciones microclimáticas y la información es guardada en una memoria virtual. Se programaron algoritmos específicos para el control microclimático, se estableció los rangos de temperatura y humedad relativa idóneos para el cultivo de tomate. Se establecieron las temperaturas en las que el algoritmo debe dar respuesta con la apertura y cierre de las cortinas, cuando la temperatura sobrepase los valores deseados en un tiempo determinado se permitirá una apertura de la cortina, los valores tomados como referencia son: límite superior que es 28 °C, punto donde la temperatura afecta el desarrollo normal del cultivo (IICA, 2016).

Comprobación del desempeño del algoritmo en el control de los parámetros microclimáticos (Primer objetivo).

Para comprobar el desempeño del algoritmo en el control de las variables microclimáticas tanto temperatura como humedad relativa, se establecieron valores de temperatura máxima, donde el algoritmo dio respuesta con la activación (apertura) e inactivación (cierre) de la cortina. Cuando la temperatura estuvo por encima del valor considerado como límite superior (28 °C) en el algoritmo, los actuadores procedieron con la activación (apertura) de la cortina para una ventilación pasiva y cuando la temperatura disminuía a valores dentro de los rangos idóneos establecidos, la temperatura óptima es entre 12 °C y 25 °C como lo han descrito en (Agromática., 2021), es decir, cuando el sensor marcaba temperaturas menores a 28 °C, se procedió a una inactivación (cierre) de la cortina.

Los sensores registraron los datos cada 10 minutos, todos los días, durante los tres meses que duro la fase de campo, si la temperatura excedía el valor de límite superior establecido (28 °C) durante 3 tiempos de 10 minutos (es decir 30 minutos), los actuadores permitieron la activación (apertura) de las cortinas, y del mismo caso cuando la temperatura se normalizaba a valores dentro de los rangos permitidos (menor a 28 °C) durante el mismo tiempo, los actuadores permitieron el cierre de las cortinas.

Para la escala de evaluación de los actuadores se tomó en consideración si se generaba una activación (apertura) de la cortina, de este modo se tomó el valor 1 para la respuesta del actuador en la activación (apertura) de la cortina y 0 cuando el actuador estaba inactivo (cortina cerrada). Esta comprobación se realizó durante 2 semanas previas al inicio de la



fase de campo, validando el correcto funcionamiento del sistema para el estudio sobre el control microclimático.

Los datos obtenidos por el sensor y la información guardada en una memoria del prototipo y posteriormente extraída, que, por la naturaleza de los datos del proyecto, fueron procesados en el programa Excel y graficados en el programa InfoStat, ya que los datos se ajustan mejor a los tipos de pruebas de estos programas, para determinar la variación de los parámetros (T° , HR) y la activación del sistema en base al análisis de datos (valores óptimos de T°).

Análisis del comportamiento de los parámetros microclimáticos Temperatura y Humedad Relativa (segundo objetivo).

Variables de respuesta

- Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (%):

Se utilizaron dispositivos electrónicos (sensores de temperatura y humedad relativa) dentro de cada invernadero para registrar las variables, además, para tener un testigo de las variables medidas se colocó también en el exterior del invernadero el dispositivo de control microclimático. Las mediciones se registraron cada 10 minutos y se sacaron promedios de los valores máximos diarios, semanales y mensuales para su evaluación.

Para determinar las variaciones de los parámetros microclimáticos temperatura y humedad relativa en el interior y exterior del invernadero, se procedió con la recolección de los datos obtenidos a lo largo de la fase de campo que tuvieron una duración aproximada de 3 meses, estos datos fueron tabulados en el programa Excel, teniendo en cuenta que estos parámetros fueron medidos en grados centígrados para temperatura y porcentaje para humedad relativa.

Luego de tener los datos depurados, se procedió a comparar los 3 sistemas empleados (semiautomatizado, convencional, control/exterior) utilizando un análisis de varianza bajo un DCA con observaciones en el tiempo, teniendo como tratamientos los invernaderos y las observaciones en el tiempo en los meses que duro la fase de campo, analizando cómo se comporta la variación de los parámetros microclimáticos (temperatura y humedad relativa). Adicionalmente, mediante el tercer objetivo se determinó la influencia de estas fluctuaciones



en el cultivo. Finalmente, se sistematizó mediante Tablas y gráficos los datos obtenidos en el programa InfoStat para cada variable medida.

Para el procesamiento de los datos se tomó en consideración diferentes etapas “eventos” que ocurrieron en el transcurso del tiempo, se consideró diferentes días en los cuales hubo variaciones de los parámetros microclimáticos, por ejemplo, días soleados o con mucha lluvia, para tener datos representativos y de esta manera determinar cómo fue la fluctuación de los parámetros al interior y exterior del invernadero.

Así también, se tomó en consideración la precisión de la medición de los sensores, tomando en cuenta los rangos de temperatura y humedad relativa idóneos para el cultivo, esto se realizó mediante el uso de termómetros comerciales de mercurio que posee una precisión de (+-) 0.5 °C, el presente proyecto empleó un sensor electrónico ambiental DHT11 que mide los cambios climáticos (temperatura y humedad relativa), una de las características que presenta el sensor DHT11 es que no requiere calibración para su uso, ya que viene calibrado de fábrica con un rango de error de (+-) 2 °C para temperatura y de (+-) 2 % para humedad relativa, no obstante, los termómetros comerciales que se utilizaron para la comparación, previamente fueron calibrados (Tabla 4). Finalmente, los datos obtenidos fueron procesados en el software InfoStat, determinando el porcentaje de error de los sensores utilizados en comparación con termómetros comerciales.

Especificaciones técnicas de instrumentos de medición.

Propiedad	Sensor DHT11	Termómetro ambiental de barra	Termómetro ambiental de madera
Material de composición	Plástico con sensor capacitivo de humedad y un termistor	Mercurio recubierto por una barra de vidrio	Mercurio recubierto por una barra de vidrio
Escala de medición	0 a 50 °C	-10 a 200 °C	-40 a 50 °C
Precisión de la medición	(+-) 2 °C	(+-) 0.5 °C	(+-) 3 °C
Calibración	Calibrado de fabrica	Requiere calibración	Requiere calibración
Medidor de HR	Incluido	No, requiere accesorio	No, requiere accesorio
Costo	\$ 4.50	\$ 9	\$ 6.50
Tiempo de censado	1 s	Depende variable temperatura	Depende variable temperatura
Tamaño	15.5mm x 12mm x 5.5mm	40 cm	19 cm x 3 cm

Tabla 4. Especificaciones técnicas de instrumentos de medición utilizados en el proyecto.



Precisión de la medición.

Para el desarrollo de este punto, los datos a evaluar fueron tomados durante 8 días con 3 repeticiones por día, estas repeticiones fueron tomadas a las mismas horas 12:30, 13:30 y 14:30, teniendo en cuenta que se realizó en los tres sensores al mismo tiempo durante las 3 horas del día. Los datos obtenidos por el sensor de temperatura, y, humedad relativa (DHT11) fueron comparados con un termómetro comercial de mercurio para determinar la precisión con la que se realizó ese estudio.

Evaluación de características agronómicas del cultivo de tomate riñón (tercer objetivo).

En la determinación de este parámetro se tomó en consideración algunas características agronómicas del cultivo como: tasa de crecimiento de plantas, cantidad de frutos cuajados, cantidad de frutos por cosecha y conductancia estomática.

Manejo.

Se realizaron podas de chupones, hojas bajas cada 7 días y deshieras cada 15 días. La cosecha de los frutos comenzó a los 140 DDS y se evaluó durante 10 cosechas, una por semana.

Variables de respuesta

- **Altura de plantas.**

Altura de plantas: Se midió la altura de las plantas (cm) de ambos invernaderos, tomando en consideración que cada invernadero contó con 9 camas, de las que se tomó 6 plantas como submuestras por cama, cada 15 días.

La tasa de crecimiento de las plantas se evaluó mediante la fórmula $(S1-S2) / T$; donde S1= primera medición, S2= segunda medición; y T= número de días transcurridos entre mediciones. Estas mediciones fueron tomadas desde el trasplante de las plantas en el invernadero hasta los 35 DDS que fue el comienzo de la fructificación, los datos fueron anotados en el libro de campo y luego tabulados en el programa Excel. El procesamiento de los datos se realizó en el software InfoStat, comparando los datos obtenidos entre el invernadero semiautomatizado y convencional, utilizando un DCA con observaciones en el tiempo, de esta manera se comprueba la influencia de los parámetros microclimáticos en el cultivo.



- **Cantidad de frutos cuajados.**

Para determinar la cantidad de frutos cuajados, se realizó un conteo en los dos invernaderos, teniendo en cuenta que se contabilizó los frutos de las 6 submuestras (plantas) de las 9 camas de cada invernadero, a los 35 DDS cuando comenzó a visualizarse frutos en la planta hasta los 120 DDS. Los datos obtenidos se tabularon en el programa Excel, se procesaron y analizaron en el software InfoStat, determinando qué invernadero obtuvo mayor cantidad de frutos cuajados. El análisis se realizó mediante un DCA con observaciones en el tiempo.

- **Cantidad de frutos por cosecha.**

Se obtuvo realizando el conteo de frutos que presenten un estado de madurez fisiológica adecuada, aproximadamente a los 120 DDS hasta los 180 DDS, la contabilización se dio hasta la cuarta cosecha, planificada previamente en el cronograma de actividades. Los datos obtenidos fueron tabulados en el programa Excel, procesados y analizados en el software InfoStat, los datos de ambos invernaderos, cada uno con las 6 submuestras (plantas) de las 9 camas, fueron comparados utilizando un DCA con observaciones en el tiempo, para verificar qué sistema tuvo mejor resultado.

- **Conductancia estomática.**

Los resultados de este ítem se obtuvieron mediante un dispositivo electrónico (porómetro), el cual mide la cantidad de agua que sale a través de los estomas en las hojas (conductancia estomática), se mide en $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Estos datos, por la fisiología de la planta y forma de medición del porómetro, se toman al medio día, en la hoja madura más joven.

4.5.5. DISEÑO EXPERIMENTAL:

Debido a la naturaleza del proyecto se utilizó un análisis de varianza bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con observaciones en el tiempo, que consta de los siguientes factores y variables:

Factor A: Tipo de invernadero: invernadero A – convencional, invernadero B – semiautomatizado, testigo C.

Variabes del diseño:

Variable A: Parámetros microclimáticos: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (%).



Variable B: Características agronómicas: Altura de plantas (cm), cantidad de frutos cuajados (uds), cantidad de frutos cosechados (uds), conductancia estomática ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$).

Se obtuvo 2 tratamientos (invernaderos) y un testigo. La unidad experimental estuvo conformada por 9 camas dentro de cada invernadero. Cada unidad experimental presentó 6 submuestras, teniendo un total de 54 plantas analizadas por cada tratamiento.

4.5.6. ANÁLISIS DE DATOS:

Para la comprobación del desempeño del algoritmo en el objetivo específico 1, se analizó el funcionamiento del prototipo en el invernadero semiautomatizado durante 9 días previo al inicio de la fase de campo. Los datos obtenidos fueron procesados en el programa excel y se obtuvo un cuadro porcentual del funcionamiento del prototipo en respuesta a la variable temperatura, además, se realizó un diagrama de dispersión de puntos, teniendo como variable (X) = horas de los 9 días y variable (Y) = temperatura y puntos de activación, relacionando la temperatura de los 9 días con las horas. Se asignó valores a la activación de la cortina, siendo 1 = estado activo y 0 = estado inactivo. Figura 12.

Para analizar la respuesta de los parámetros microclimáticos (Temperatura y Humedad Relativa) en el objetivo específico 2, los datos se analizaron estadísticamente a través de un análisis de varianza con ayuda del programa estadístico infostat, para comprobar la normalidad de los datos (Tabla 7), misma que se trabajó con un nivel de confianza del 95 % por ser prueba más adecuada para nuestros datos, pues se ajustan de mejor manera. La variable cuantitativa continua temperatura se registró en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$) y la variable cuantitativa continua Humedad Relativa se registró en porcentaje (%). Para la evaluación se consideró los valores máximos por día.

En el análisis de la precisión de medición, se realizó una comparación de medidas entre el sensor digital (DHT11) y un termómetro comercial de mercurio, los datos fueron tomados durante 8 días, 3 veces por día a la misma hora. Estos fueron comparados entre sí para determinar qué porcentaje de error presenta el sensor digital empleado. Tabla 5.

Para evaluar las características agronómicas del cultivo (altura de plantas, frutos cuajados, cantidad de fruto por cosecha y conductancia estomática) en el objetivo específico 3, se analizó las cuatro variables en los dos invernaderos (invernadero convencional, invernadero semiautomatizado). Se realizaron las pruebas de normalidad en el programa infostat y posterior a eso, el análisis mediante pruebas de T de student, prueba bilateral de inferencia



basada en dos muestras, para cada una de las características agronómicas, la variable cuantitativa altura de planta se registró en centímetros (cm), la variable cuantitativa frutos cuajados se registró en unidades, la variable cuantitativa frutos por cosecha se registró en unidades y la variable cuantitativa conductancia estomática en ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$).

CAPÍTULO V: RESULTADOS

Comprobación del desempeño del algoritmo en el control de los parámetros microclimáticos.

Comprobación del desempeño del algoritmo.

En la zona de estudio se comprobó que existe una respuesta positiva de los sensores y actuadores ante la variación (aumento) de la temperatura, modificando de esta forma los parámetros microclimáticos al interior del invernadero, mediante la apertura y cierre de la cortina. En los datos obtenidos se observa una respuesta de los actuadores cuando la temperatura es igual o sobrepasa los 28°C , es decir, cuando la temperatura esta fuera de los límites permitidos por más de media hora se dio una activación de las cortinas para permitir una ventilación pasiva mediante el intercambio del flujo de aire, para esto se optó en referir valores para graficar los resultados, siendo de esta manera los valores $A= 1$ (apertura de la cortina) y $B= 0$ (cierre de la cortina), En el siguiente gráfico se observa el porcentaje de eficiencia del algoritmo utilizado, el cual presento una eficiencia del 100 % de acuerdo con los datos registrados, al cumplir con las condiciones para la activación (apertura de la cortina al sobrepasar la temperatura máxima 28°C), esta se ejecutó satisfactoriamente en todo momento (Figura 11).

VECES EN QUE LA TEMPERATURA CUMPLE LAS CONDICIONES PARA LA APERTURA Y SE ABRE	VECES EN LA QUE LA TEMPERATURA CUMPLE LAS CONDICIONES, PERO NO SE ABRE
13	0

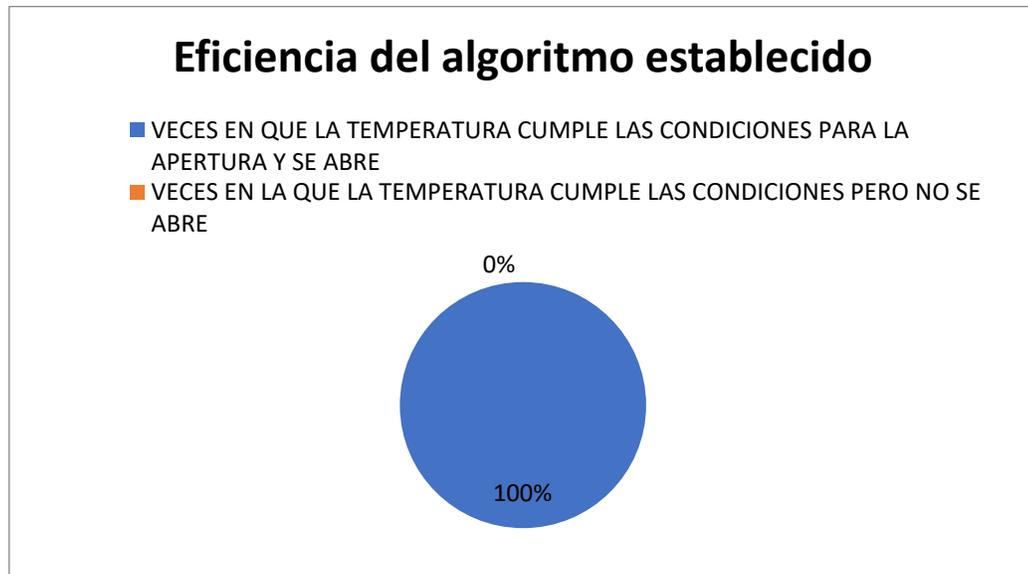


Figura 11. Eficiencia de activación de los actuadores en relación con los límites de temperatura establecida en el algoritmo.

La activación de los actuadores respondió satisfactoriamente al algoritmo establecido, pues en los 9 días de evaluación previo al inicio de la fase de campo, el prototipo activó y cerró las cortinas al cumplir las condiciones establecidas para su efecto, que fueron: la apertura se dará al igualar o sobrepasar el límite superior de temperatura establecido ($28\text{ }^{\circ}\text{C}$), por 3 tiempos de 10 minutos, es decir, 30 minutos. Similar a esto pasa para el cierre de cortinas, donde, la temperatura al regresar a los rangos permitidos (menor a $28\text{ }^{\circ}\text{C}$), en 3 tiempos de 10 minutos, se dará el cierre. Previo a la fase de campo se evaluó estas condiciones y no se registraron fallas en los días analizados, pudiendo empezar con la fase de campo satisfactoriamente. En la siguiente Figura se detalla el número de veces que se activó el sistema por día (Figura 12).

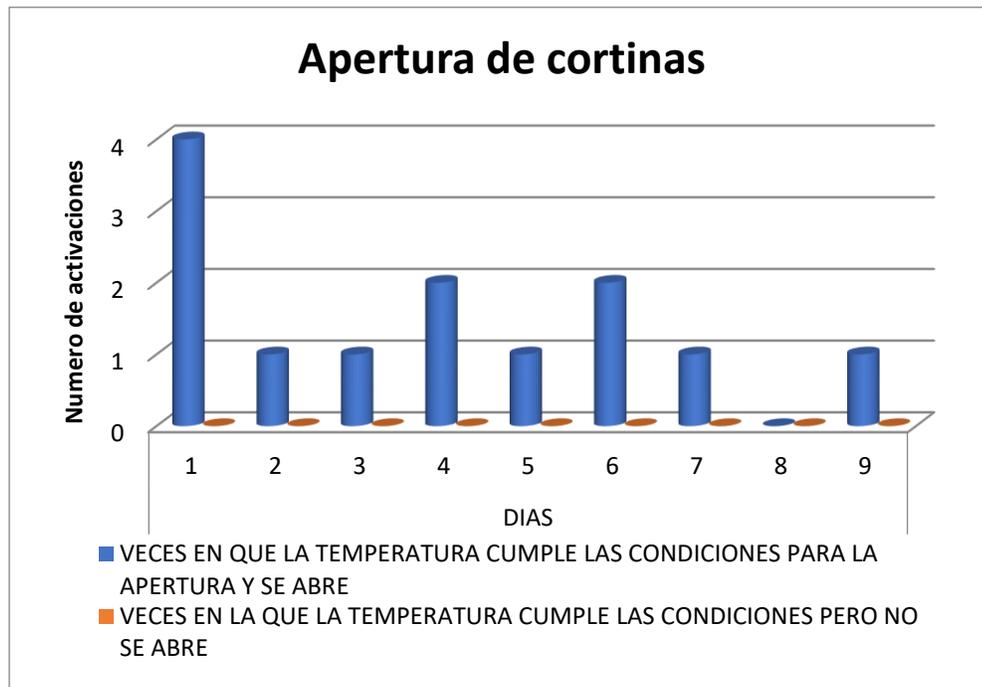
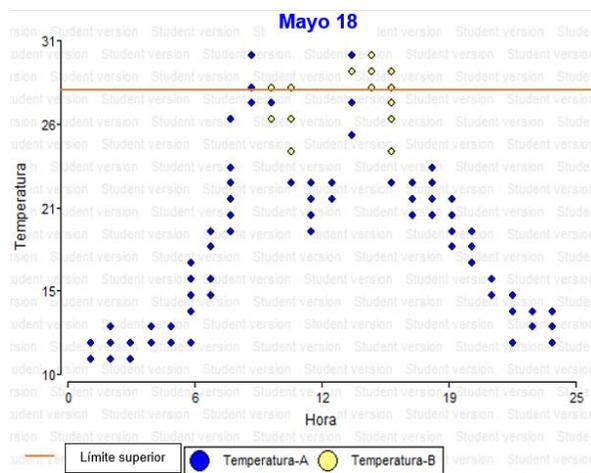
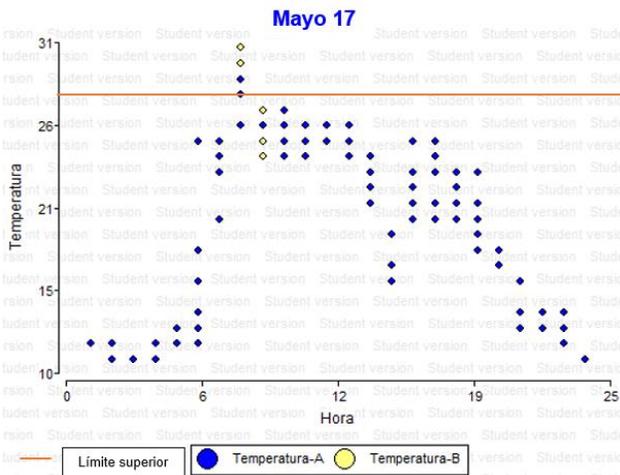
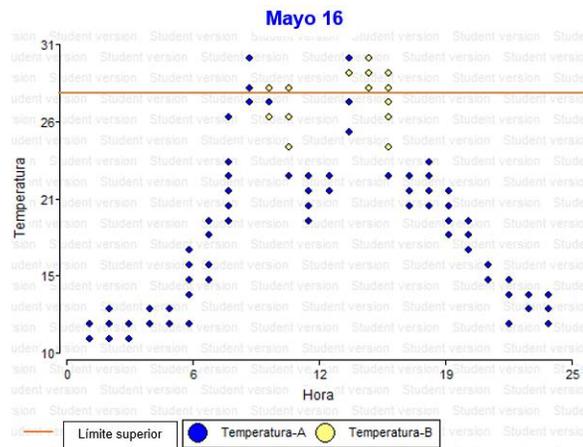
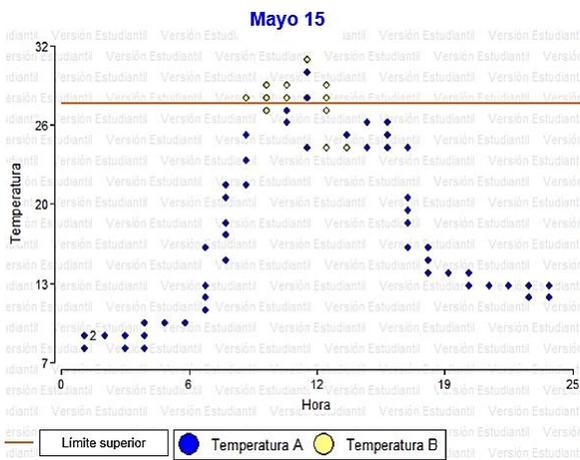
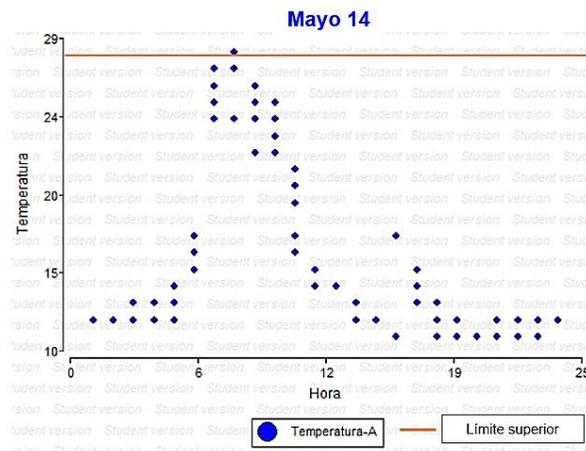
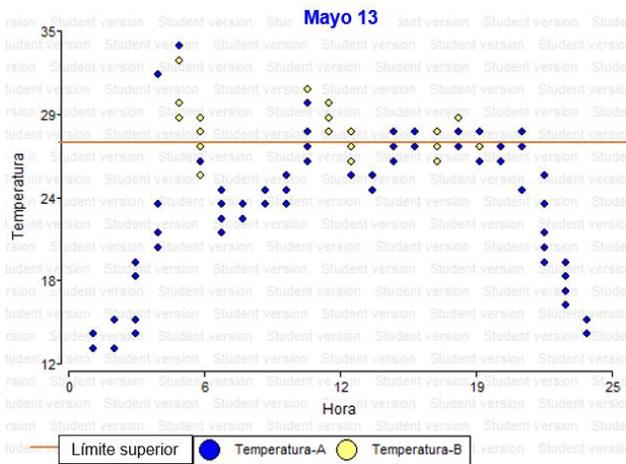


Figura 12. Cantidad de activaciones que presento el sistema, por día.

Para entender un poco más sobre el funcionamiento que tuvo el prototipo, se estableció diagramas de dispersión de puntos, estos muestran los días que se emplearon para la evaluación, y la activación que tuvo el sistema en base a la temperatura, teniendo como límite superior 28°C, además, se debe dar una activación del sistema al cumplirse los requisitos antes mencionados, en la siguiente Figura se detalla la relación entre la temperatura y las horas de los días empleados para la comprobación del desempeño del prototipo (Figura 13).



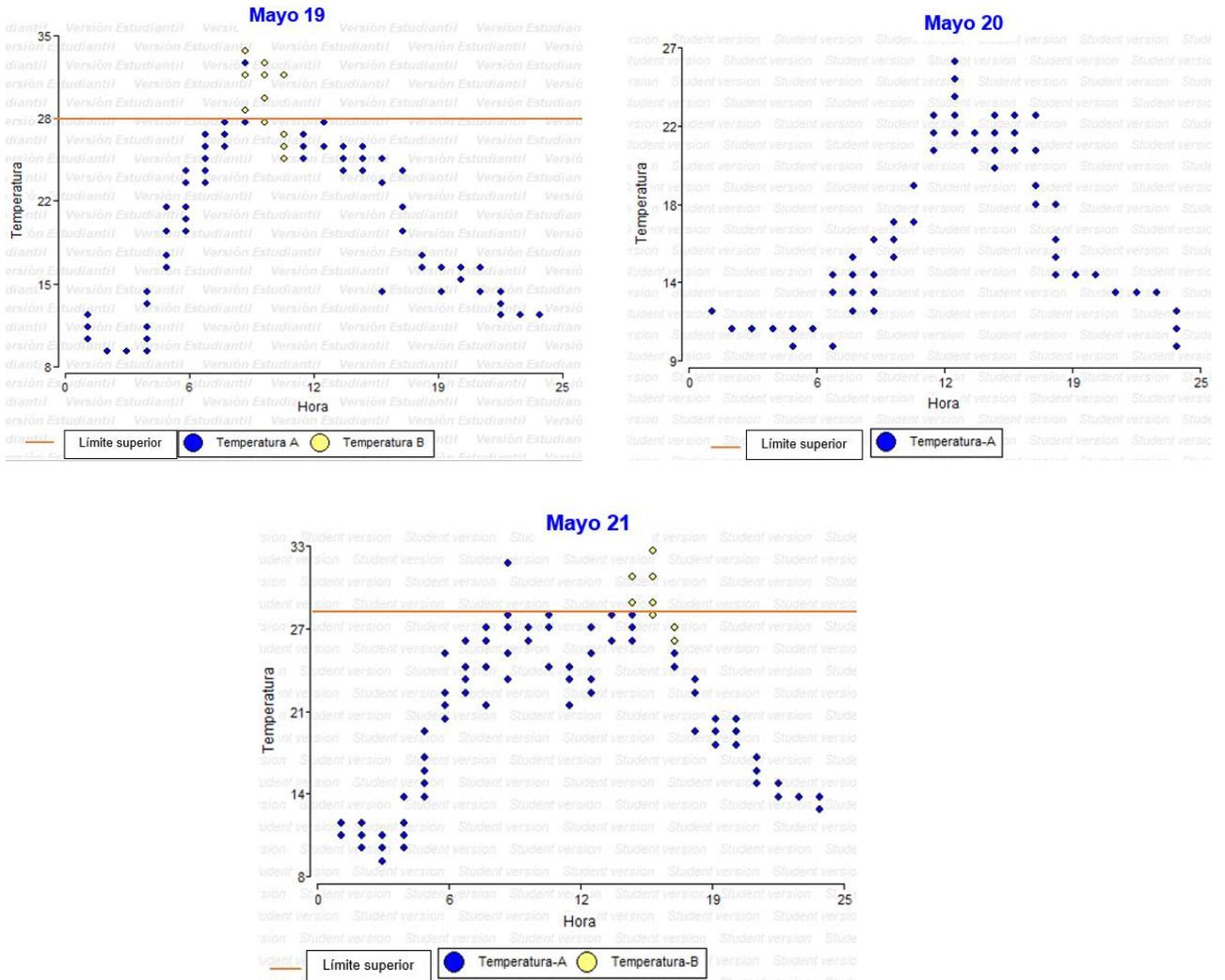


Figura 13. Relación entre la temperatura de los 9 Días y horas del día (Temperatura A=0; Temperatura B=1), juntamente con la activación del sistema. Los puntos amarillos muestran la activación del sistema.

Por el contrario, cuando la temperatura se normaliza dentro de los parámetros establecidos en el algoritmo (menor a 28 °C), la cortina procede a cerrarse, teniendo como efecto positivo el control de los parámetros microclimáticos, en la Figura 13 se puede observar que los gráficos correspondientes a los días de mayo 14 y 20 no presentan activación de los actuadores, sobrentendiéndose que la temperatura en estos días no excedió el límite superior establecido previamente (28 °C).

La Figura 14 muestra el comportamiento del algoritmo durante los días de evaluación, relacionándolo con la activación del sistema. Los datos obtenidos demuestran una

respuesta positiva del sistema empleado. Dando como resultado un control de los parámetros microclimáticos (T° y HR), y haciéndolo apto para este estudio.

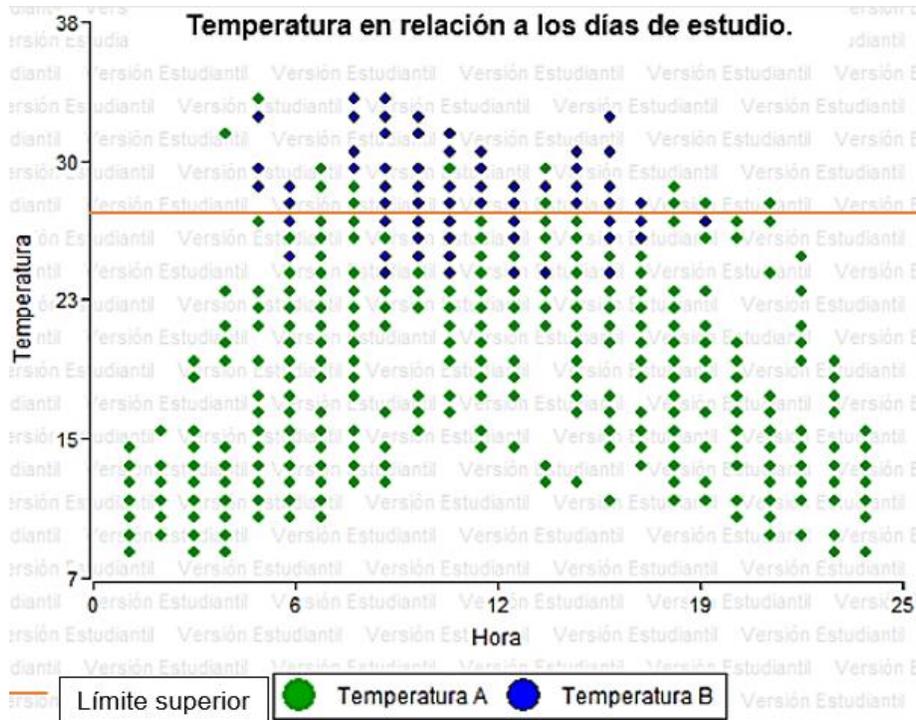


Figura 14. Relación entre la temperatura de los días evaluados (9) y horas del día, juntamente con la activación del sistema. La temperatura B o 1 detalla la activación del sistema.

Al evaluarse los días previos al inicio de la fase de campo se pudo realizar los ajustes necesarios (establecimiento de límites superiores) para que el sistema funcione correctamente, la respuesta de los actuadores a la variación de la temperatura fue inmediata, al sobrepasar la temperatura establecida (28°C) por 30 minutos, los actuadores se activaron y procedió a la apertura de la cortina (Figura 15). De igual manera para el cierre de la cortina, al registrarse temperaturas bajo el límite establecido (28°C) por media hora, los actuadores se activan para dar paso al cierre de la cortina.



Figura 15. Apertura de cortina en el invernadero semiautomatizado.

Análisis del comportamiento de los parámetros microclimáticos Temperatura y Humedad Relativa.

Precisión de medición del sensor DHT11

En la corrección de los datos de Temperatura en los tres tratamientos se realizó una comparación entre los datos obtenidos por el sensor digital utilizado (DHT11) y un termómetro de mercurio convencional, determinando el error que posee el sensor utilizado (DHT11) (Tabla 5). Según la ficha técnica del sensor digital este viene calibrado de fábrica y no necesita calibración adicional, en cuanto a la precisión de medición tiene una variación de ± 2 °C, a este sensor se lo comparó con un termómetro comercial de barra que tiene una precisión de medición de $\pm 0,5$ °C, los datos recolectados tuvieron valores medios; para el invernadero semiautomatizado T1: 18.25 °C y para su comparación C2: 19.21 °C. Para el invernadero convencional T2: 27 °C y C3: 26.25 °C, finalmente, para el testigo T3: 32.83 °C y C1: 32.5 °C. Como se puede observar, las medias presentan poca diferencia en relación con los datos promedios obtenidos del sensor digital como del termómetro comercial, para este caso, nuestro sensor presenta una precisión de medición de ± 3 °C.



Corrección de Temperaturas tomadas con sensor digital (T) y un termómetro de mercurio (C)							
FECHA	HORA	T1	C1	T2	C2	T3	C3
23-sep-20	12:30	14	17	30	29	26	27
	13:30	16	18	28	26	29	27
	14:30	20	21	29	26	32	30
24-sep-20	12:30	22	20	30	27	35	33
	13:30	18	19	26	24	30	27
	14:30	23	21	28	29	35	33
25-sep-20	12:30	17	16	27	25	38	39
	13:30	19	20	26	28	37	37
	14:30	20	21	29	27	39	38
26-sep-20	12:30	19	19	28	26	38	39
	13:30	16	17	25	23	29	30
	14:30	14	17	23	21	27	27
27-sep-20	12:30	18	20	28	27	36	37
	13:30	20	22	26	27	38	40
	14:30	19	21	28	29	36	34
28-sep-20	12:30	18	20	28	27	36	37
	13:30	21	23	30	28	35	35
	14:30	18	19	26	28	30	29
29-sep-20	12:30	19	20	27	29	36	35
	13:30	16	15	24	25	26	28
	14:30	16	16	23	21	24	26
30-sep-20	12:30	18	20	29	27	36	36
	13:30	19	21	26	28	34	31
	14:30	18	18	24	23	26	25

Tabla 5. Datos de temperatura, corrigiendo el sensor empleado en el estudio con un termómetro comercial, donde, C1, C2, C3 corresponden a los valores medidos por el termómetro comercial y T1, T2, T3 son los valores registrados por el sensor electrónico, LI y LS corresponden a los límites inferior y superior respectivamente.

Para la comprobación de no significancia, se tomaron los datos del invernadero semiautomatizado, todos los días de pruebas y para las Temperaturas tomadas con sensor digital (T) y un termómetro de mercurio (C), Se trabajó con un nivel de confianza del 99 %. A continuación, se presenta el análisis para esta variable, empleando una prueba de t para muestras independientes (Tabla 6).

**Prueba T para muestras Independientes**

Variable	Grupo		n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	gl	p-valor	prueba
	1	2							
Temperaturas	{C1}	{T1}	24	24	19,21	18,25	46	0,1293	Bilateral

Tabla 6. Prueba T para comprobación de no significancia de la corrección de temperaturas tomadas con sensor digital (T) y un termómetro de mercurio (C).

Luego del análisis de la corrección de datos de temperatura tomadas por el sensor y el termómetro podemos observar que no existe diferencia significativa, por lo tanto, los datos de temperatura tomados por el sensor dentro de los invernaderos, tanto como en el testigo, son totalmente confiables.

Variación de temperatura (°C) y humedad relativa (%).

Para la determinación del comportamiento de los parámetros microclimáticos, los datos obtenidos por los sensores fueron guardados y tabulados en el programa Excel, el procesamiento y análisis se realizó en software InfoStat. Los datos obtenidos de la investigación fueron analizados para verificar los supuestos de normalidad (test de Shapiro-Wilks). (Tabla 7).

Pruebas de normalidad

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
TEMPERATURA	,952	30	,190
HUMEDAD RELATIVA	,950	30	,169

Tabla 7. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

A las variables que cumplieron con los supuestos, se realizó un análisis de varianza (ADEVA) y prueba de comparación de Tukey al 5 %. Los datos analizados mostraron que efectivamente hubo un control del microclima con la utilización del prototipo diseñado. Se analizaron como un diseño completamente al azar con observaciones en el tiempo. En la siguiente Tabla se detalla cómo fue la fluctuación de la temperatura en los meses de



estudio, se aprecia que hay diferencias entre los tratamientos (invernaderos), siendo el invernadero semiautomatizado el que ofrece un mejor control sobre la fluctuación de la variable temperatura, manteniendo desde un mínimo de 25 °C y un máximo de 43 °C con un rango de 18 °C, temperatura que según Robinson (2011), no afecta en gran medida el desarrollo de la planta (Tabla 8).

Variables	Invernaderos		
	INVER_CONVENCIONAL	INVER_SEMIAUTIZADO	TESTIGO
Máxima	49.00	43.00	23.00
Media	37.66	31.23	18.20
Mínima	23.00	25.00	14.00
Error. Est.	6.13	3.11	1.79
Varianza	37.60	9.69	3.22
Rango	26.00	18.00	9.00
C.V. (%)	16.28	9.96	9.86

Tabla 8. Fluctuación de la variable temperatura en cada invernadero y testigo.

Basándose en lo referido por Barrera en 2014, sobre la afección que tienen los cambios bruscos de temperatura sobre el cultivo, podemos decir que nuestro sistema beneficia al intercambio de aire mediante una ventilación pasiva, ayudando a una renovación del aire y a una disminución paulatina de la temperatura, en la Tabla 9 se aprecia como se comportó la temperatura dentro de los tratamientos (invernaderos), y se detalla sus repeticiones (abril, mayo, junio). Se observa el invernadero convencional con temperaturas mensuales muy elevadas, teniendo como pico en el mes de abril con un máximo de 49 °C, un mínimo de 23 °C. El invernadero semiautomatizado también presenta valores de temperatura muy elevados con un máximo de 43 °C un mínimo de 25 °C para abril, esto podría referir que el sistema no cumple las especificaciones, sin embargo, para el análisis se tomaron los valores máximos de cada día, a esto se adiciona el hecho que el prototipo está programado para activarse cuando la temperatura sobrepase el valor límite (28 °C), cuando el sensor registre 3 valores por encima del valor permisible se da la apertura, en este tiempo el valor de la temperatura sigue aumentando hasta que se dé la activación del sistema y permita una apertura de la cortina. No obstante, más adelante se detalla cómo se comporta la temperatura por día, para entender mejor la relación de la temperatura y las horas del día con la activación del sistema.



Variable: Temperatura							
Mes	Tratamientos	Máxima	Media	Minina	Desv. Est	Varianza	C.V
Abril	INV_CONV	49	39.73	23	6.695	44.82	0.168
	INV_SEMIAUTO	43	32.63	25	3.935	15.48	0.121
	TESTIGO	21	18.2	16	1.648	2.72	0.091
Mayo	INV_CONV	45	34.57	25	6.404	41.01	0.185
	INV_SEMIAUTO	34	30	25	2.586	6.69	0.086
	TESTIGO	23	17.9	14	2.123	4.51	0.119
Junio	INV_CONV	45	38.67	30	3.763	14.16	0.097
	INV_SEMIAUTO	35	31.07	27	1.982	3.93	0.064
	TESTIGO	22	18.5	16	1.570	2.47	0.085

Tabla 9. Fluctuación de la variable temperatura para los meses de estudio en los diferentes tratamientos.

El comportamiento de la variable microclimática humedad relativa tuvo un efecto contrario, pues a medida que aumentaba la temperatura en los invernaderos, la humedad descendía, concordando con la información de IICA (2016), se menciona a la humedad relativa como un factor importante a considerar dentro del cultivo, refiere que el cultivo de tomate se desarrolla mejor en una humedad relativa aprox. 80 a 90 %. Considerando lo mencionado, nuestro sistema tiene un control sobre el parámetro de humedad relativa, manteniéndolo elevado mediante la ventilación que se tiene por medio de la cortina, el sistema semiautomatizado genera un mejor control, presentando valores de humedad promedio de 90 %, los meses de abril y mayo muestran humedades relativas similares con valor promedio de 90.5 % para cada mes, mayo presentó valores óptimos para el desarrollo del cultivo con un máximo de 93 % (Tabla 7). Contrario al invernadero convencional que presenta valores muy bajos de humedad relativa variando desde 25 % a 78 %, siendo el mes de junio donde presenta un descenso drástico de humedad relativa con un mínimo de 25 % (Tabla 10).



Variable: Humedad Relativa							
Mes	Tratamientos	Máxima	Media	Minina	Desv. Est	Varianza	C.V
Abril	INV_CONV	78	51.5	25	6.695	317.69	0.364
	INV_SEMIAUTO	92	90.5	89	3.935	0.46	0.007
	TESTIGO	86	74.5	63	1.648	30.37	0.076
Mayo	INV_CONV	54	39	24	6.404	87.89	0.274
	INV_SEMIAUTO	93	90.5	88	2.586	1.68	0.014
	TESTIGO	88	77	66	2.123	37.73	0.084
Junio	INV_CONV	53	39	25	3.763	66.13	0.221
	INV_SEMIAUTO	92	88.5	85	1.982	7.11	0.030
	TESTIGO	91	80.5	70	1.570	38.14	0.077

Tabla 10. Fluctuación de la variable temperatura para los meses de estudio en los diferentes tratamientos.

Comportamiento de los parámetros microclimáticos en los meses de estudio.

Parámetro Temperatura:

Luego de aplicar el ANOVA un nivel de significancia del 5 % se encontró que el efecto de invernadero fue significativo (p -valor $<0,0001$), indicando que al menos uno de los promedios de temperatura es diferente de los otros, esto significa que el invernadero semiautomatizado (T1) tiene diferencia en las medidas de temperatura. (Tabla 11).

**Análisis de varianza**

Variable	N	CV
Temperatura °C	72	25.92

Tabla de análisis de varianza

F.V	GL	F	p-valor
Modelo	95	13.68	<0,0001
Invernaderos	2		<0,0001
Días	29	0,65	0,9124
Error	69	1351,78	
Total	71		

Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) sobre parámetro microclimático correspondiente a temperatura, datos referidos en días, donde n – número de muestras, C.V – coeficiente de variación, GL – grados libertad.

Conjuntamente se realizó un análisis Tukey, obteniendo como resultado diferencias significativas para uno de los tratamientos, viéndose para (T1), valores con diferencia significativa ($p > 0,05$) (Tabla 12).

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,06055				
Error: 19,5910		gl: 69		
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T1	12,77	24	0,9	A
T2	18,33	24	0,9	B
T3	20,13	24	0,9	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 12. Prueba de Tukey, en donde; Alfa – nivel de significancia, gl – grados de libertad, n – número de muestras, E.E – Error estándar.

El Invernadero Convencional presenta la temperatura promedio más alta con Error.Est. = 6.13, en el rango A. El invernadero semiautomatizado muestra una temperatura intermedia con Error.Est.=3.11 en el rango B, y el testigo presenta la temperatura más baja con Error.Est.=1.79, en el rango C (Figura 16).

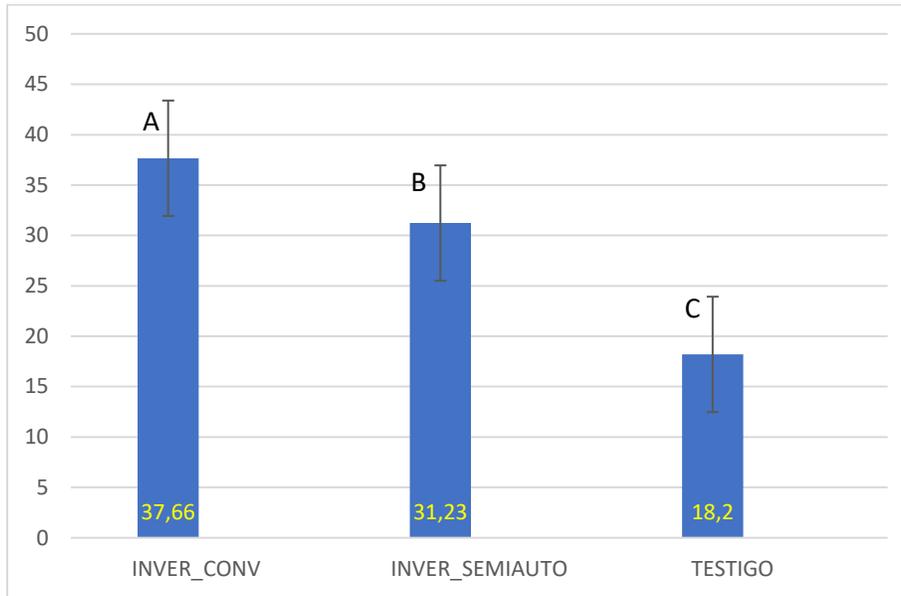


Figura 16. Temperatura promedio por invernadero y rangos.

En la siguiente Figura se observa el comportamiento de la temperatura en los diferentes invernaderos para los meses de estudio, el invernadero semiautomatizado presentó valores con menor dispersión con relación a la línea de tendencia, lo que refiere que el invernadero semiautomatizado tiene control sobre el parámetro temperatura debido a que evita que haya variaciones bruscas, contrario a esto pasa con el invernadero convencional donde la temperatura tiene variaciones elevadas (Figura 17).

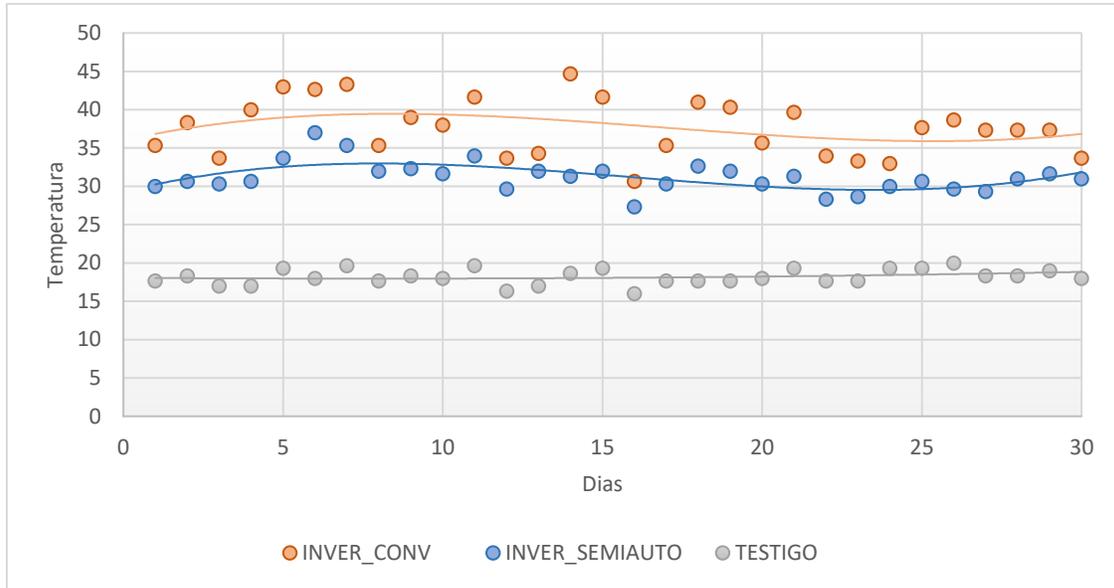


Figura 17. Comportamiento de la temperatura promedio para cada invernadero, durante la fase de campo.

Comportamiento de los parámetros microclimáticos en los meses de estudio.

Parámetro Humedad Relativa:

El análisis de varianza obtenido a partir de los datos para la variable humedad relativa, muestra que existen diferencias significativas para invernaderos ($p=0,0001$). (Tabla 13).

**Análisis de varianza**

Variable	N	CV
HR	72	16.26

Tabla de análisis de varianza

F.V	GL	F	p-valor
Modelo	2	225,01	<0,0001
Tratamiento	2	225,01	<0,0001
Error	69		
Total	71		

Tabla 13. Análisis de varianza y Tabla de ANOVA sobre parámetro microclimático correspondiente a Humedad Relativa, con un $p < 0,05$, donde n - número de muestras, C.V - coeficiente de variación, SC - suma de cuadrados, GL - grados libertad y CM - media cuadrática.

Conjuntamente se realizó un análisis Tukey, teniendo como resultado diferencias significativas en los tres tratamientos, valores con diferencia significativa ($p > 0,05$) (Tabla 14).

Test: Tukey	Alfa= 0,05	DMS= 5,80522		
Error: 70,4847		gl: 69		
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
H3	25,25	24	1,71	A
H1	53,05	24	1,71	B
H2	76,60	24	1,71	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 14. Prueba de Tukey, en donde; Alfa – nivel de significancia, gl – grados de libertad, n - número de muestras, E.E – Error estándar.

El Invernadero Semiautomático presenta la humedad relativa adecuada, cerca de los rangos óptimos (Media= 53.05, Error.Est. = 1.71) en el rango A. El Testigo muestra una humedad relativa baja (Media= 25.25, Error.Est.= 1.71), en el rango B y el Invernadero Convencional presenta la humedad relativa más alta (Media= 76.60, Error.Est.=1.71), en el rango C (Figura 14).

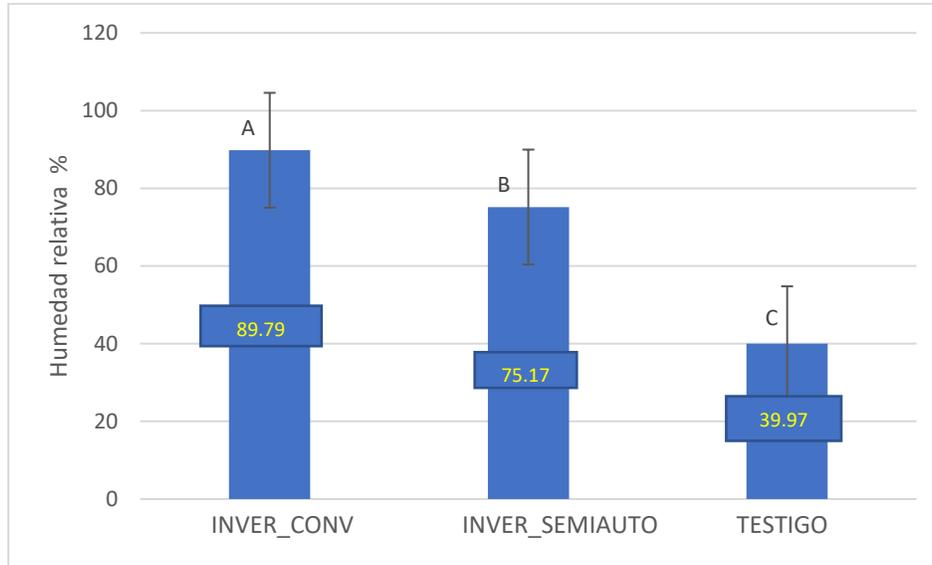


Figura 18. Humedad relativa promedio por invernadero y rangos.

El control microclimático mediante el prototipo empleado dio resultados positivos, en la Figura 19 se aprecia el comportamiento de la humedad relativa en los invernaderos. El invernadero semiautomatizado se caracterizó por mantener la humedad relativa constante, en valores muy cercanos a los óptimos para el desarrollo del cultivo, mientras que el invernadero convencional presentó valores de humedad bajos, poco recomendable para el cultivo (Figura 19).

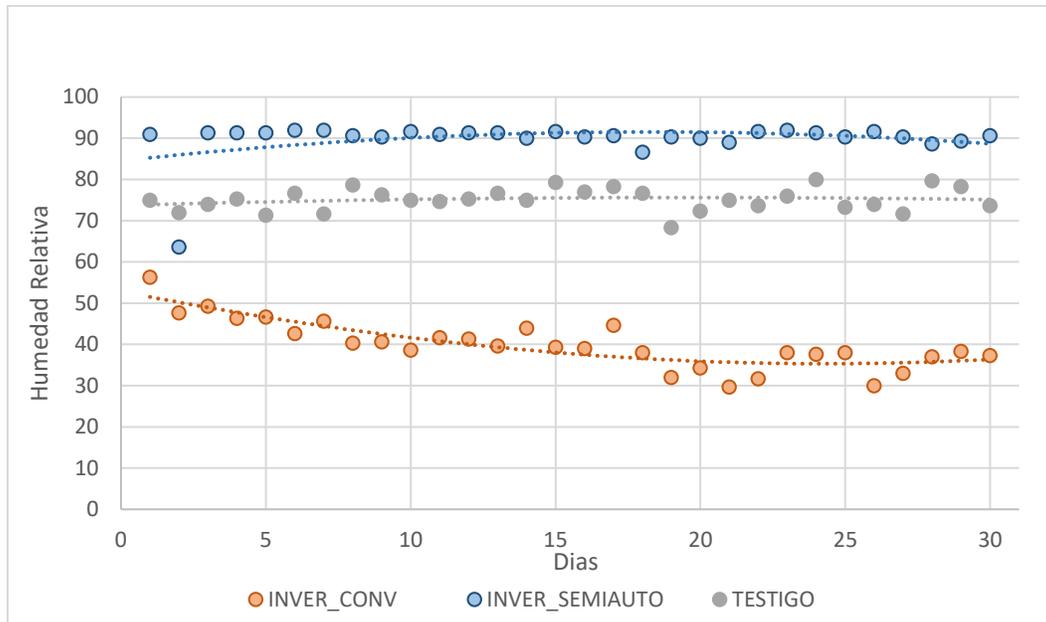


Figura 19. Comportamiento de la humedad relativa promedio para cada invernadero, durante la fase de campo.

Comportamiento de los parámetros microclimáticos, comparación por días.

Temperatura:

Para mayor comprensión de como funciona el control microclimático, tenemos el siguiente análisis y gráfico donde se compara las variaciones que tuvo los parámetros microclimáticos, se consideró para este análisis tres días que tuvieron una temperatura elevada, así, de esta manera se observó detalladamente la función que desempeño el prototipo de control y el efecto obtenido. Los días referidos para este análisis fueron 12 abril, 23 mayo, 05 junio, estos días presentaron las temperaturas más elevadas en toda la fase de campo.

En relación con la variación de temperatura, se puede observar un control de este parámetro dentro del invernadero semiautomatizado (T1), donde la temperatura se mantiene mayormente dentro de los límites asignados en el algoritmo (28 °C). Detallando el análisis, existen picos donde la temperatura llega a un máximo, pero no se mantiene, debido a que el algoritmo se programó para que de paso a los actuadores a los 30 minutos de registrarse una temperatura superior al límite establecido.

Al analizar los datos, se demuestra que el invernadero semiautomatizado tuvo una influencia positiva en el control de la temperatura, dado que permitió una renovación pasiva del aire, la temperatura se mantuvo dentro de los límites establecidos (28 °C). No obstante, como se mencionó anteriormente, si bien, la temperatura en el invernadero semiautomatizado sobrepasa el límite superior como se observa en la Figura 20, no se mantiene fuera de este límite por mucho tiempo debido al accionar de los actuadores que permiten la apertura de la cortina, a diferencia del invernadero convencional donde la temperatura se eleva desmedidamente y se mantiene fuera del límite superior.

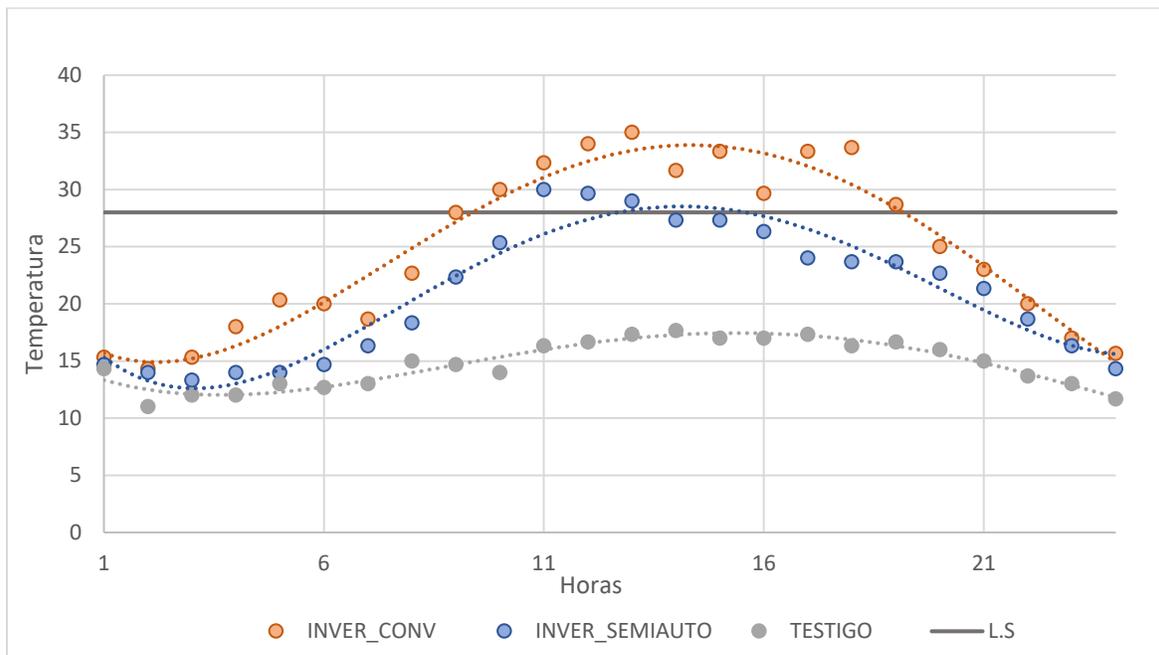


Figura 20. Comparación de temperaturas en los diferentes invernaderos detallado por horas, donde L.S representa el límite superior permisible establecido en el algoritmo (28 °C).

Como se observa en la siguiente Figura, la humedad relativa registrada en el invernadero convencional es baja, esto se debe a que existe un aumento desmedido en la temperatura. Sin embargo, los datos registrados en el invernadero semiautomatizado muestran que la humedad relativa se mantiene dentro de los rangos adecuados para el cultivo de tomate, esto se da gracias a que hay una conservación e intercambio de aire con el exterior.

Tanto el parámetro temperatura como humedad relativa son inversamente proporcionales, es decir, a medida que la temperatura aumenta la humedad relativa tiende a disminuir (Huertas, L., 2008), sin embargo, en un sistema cerrado como el caso de un invernadero se puede controlar dichos cambios, en el siguiente gráfico se demuestra el control de este

parámetro, con la utilización de un sistema semiautomatizado de intercambio de aire mediante el uso de cortinas (Figura 21).

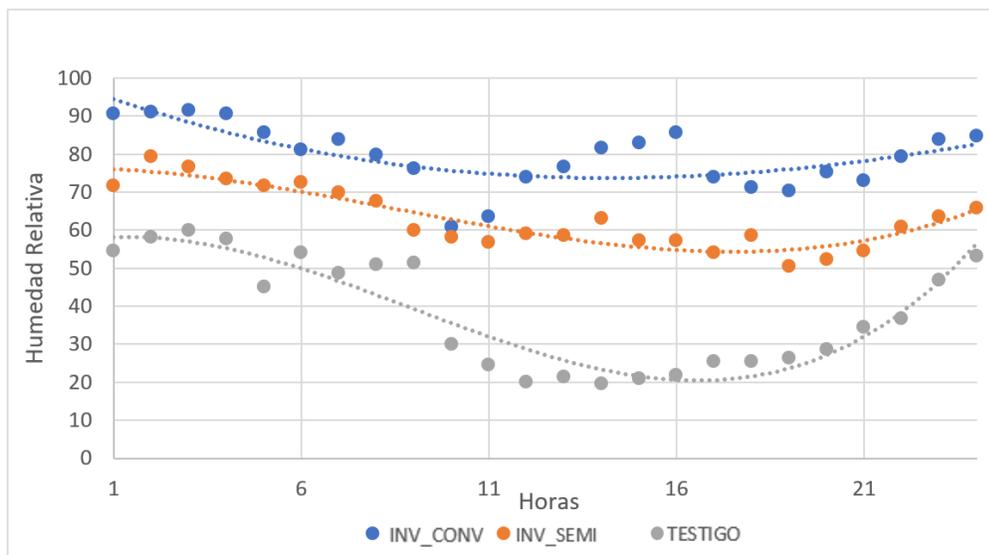


Figura 21. Comparación de datos microclimáticos correspondientes a humedad relativa, datos analizados por horas.

Evaluación de características agronómicas del cultivo de tomate riñón.

Los datos medidos fueron guardados y tabulados en el programa Excel, el procesamiento y análisis se realizó en software InfoStat. Los datos obtenidos se analizaron para verificar los supuestos de normalidad (test de Shapiro-Wilks) (Tabla 15).

Pruebas de normalidad			
	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
ALTURA	,914	12	,460
FRUTOS CUAJADOS	,870	8	,225
FRUTOS COSECHADOS	,918	4	,492
CONDUCTANCIA ESTOMATICA	,972	1	,908

Tabla 15. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para datos agronómicos.



Finalmente se realizó una estadística descriptiva empleando pruebas de t de student, prueba bilateral de inferencia basada en dos muestras. Las distintas características agronómicas del cultivo evaluadas dentro del área de estudio mostraron variaciones estadísticas significativas.

En la comprobación de medias de las características agronómicas del cultivo, se demuestra que el invernadero con el sistema semiautomatizado presenta mejores resultados, teniendo para la variable altura una media de 101.18 cm en comparación con el invernadero convencional que presentó una media de 86.32 cm. Así también, al evaluar la variable de frutos cosechados, se presenta una diferencia de medias alta, donde el sistema semiautomatizado influyó de manera positiva tanto en el cuajado de frutos como en la cosecha (Tabla 16). Tomando en cuenta que medias con letras en común no son significativamente diferentes. Estas variables fueron medidas en diferentes tiempos, debido a las necesidades del estudio.

Variable	Invernaderos	Media	n	E.E.	
Altura de plantas cm	INV_AUTO	101.18	80	1.02	A
	INV_CONVEN	86.32	80	1.02	B
Frutos Cuajados	INV_AUTO	8.38	64	0.24	A
	INV_CONVEN	5.05	64	0.24	B
Frutos Cosechados	INV_AUTO	18.41	32	0.23	A
	INV_CONVEN	4.41	32	0.23	B
Conductancia Estomática $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.	INV_AUTO	249.33	3	18.34	A
	INV_CONVEN	162.47	3	18.34	B

Las medias con un color de letra diferente no tienen diferencia significativa ($p > 0,05$)

Tabla 16. Análisis comparativo de medias para las características agronómicas del cultivo, donde n es el número de muestras y E.E es el error estándar.

Altura de plantas.

Al realizar los análisis correspondientes mediante la prueba de t de student para evaluar la característica de altura de plantas, se realizó comparaciones entre los tratamientos utilizados tomadas para el estudio, así, se obtuvo el siguiente resultado. El sistema automatizado influyo de manera positiva en el desarrollo del cultivo, generando plantas más altas y por lo tanto más pisos de cosecha. Como se observa en la Tabla 17 existe una diferencia estadística significativa entre los tratamientos (invernaderos) semiautomatizado y convencional con un valor de significancia de $p=0,0266$.

Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	gl	p-valor	prueba
ALTURA DE PLANTAS	{INV_AUTO }	{INV_CONVEN }	12	12	87,66	75,27	22	0,0266	Bilatera l

Tabla 17. Prueba t de student para datos agronómicos correspondiente a altura de plantas.

Para ver la influencia de la temperatura en los aspectos agronómicos del cultivo se comparó los dos tratamientos (invernaderos) en las semanas de estudio, teniendo como resultado una mayor altura de plantas en el invernadero semiautomatizado (Figura 22).

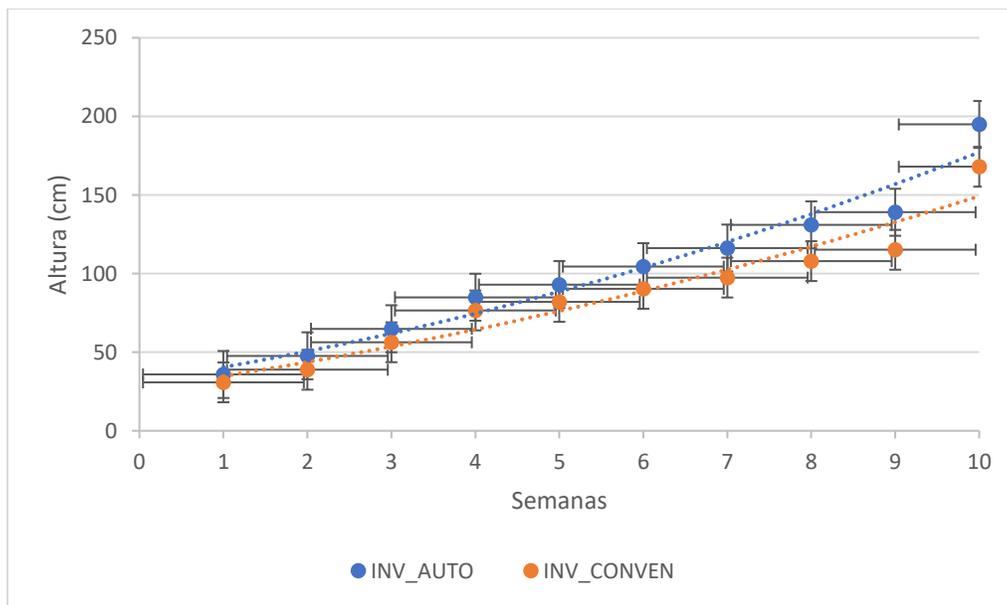


Figura 22. Comparación de alturas de plantas por semana en el invernadero semiautomatizado y convencional.

Así también, se puede observar diferencias visuales de la altura de las plantas, en las siguientes Figuras se observa la variación en la altura, la Figura 23 corresponde al invernadero convencional y la Figura 24 al invernadero semiautomatizado, teniendo así, mayor altura en el invernadero semiautomatizado.



Figura 23. Altura de plantas invernadero convencional.



Figura 24. Altura de plantas invernadero semiautomatizado.

Cantidad de frutos cuajados.

Al realizar el análisis correspondiente a cantidad de frutos cuajados se puede observar que el empleo del sistema semiautomatizado influyo de manera positiva en el cuajado de los frutos. Teniendo como resultado diferencias estadísticas significativas en las variables invernaderos con un valor $p=0,0062$ (Tabla 18). Teniendo que el invernadero semiautomatizado dio una mejor respuesta en el cuajado de frutos, concordando con el estudio realizado por Indap (2017) donde menciona que temperaturas sobre los $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ se produce aborto floral, afectando el cuaje de frutos y disminuyendo el rendimiento del cultivo.

Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	gl	p-valor	prueba
FRUTOS CUAJADOS	{INV_AUTO}	{INV_CONVEN}	8	8	8,38	5,05	14	0,0062	Bilateral

Tabla 18. Prueba t de student para datos agronómicos correspondiente a cantidad de frutos cuajados.

En esta variable, relacionada directamente con el rendimiento del cultivo, la cantidad de frutos cuajados en el invernadero semiautomatizado fue mayor al del invernadero convencional hasta la 8va semana. También podemos observar que esta variable tiene relación directa con la variable altura de la planta dado que se ganó un piso más de cosecha, además de que su desarrollo es más rápido y el florecimiento también, teniendo en cuenta que el día de la cosecha fue el mismo en los dos tratamientos, 140DDS (Días Después de la Siembra), la maduración de los frutos fue en días similares, con la diferencia de cantidades. En la siguiente Figura se puede observar cómo se desarrolló esta variable a lo largo de las semanas de estudio, teniendo así un mejor rendimiento en de frutos cuajados en el invernadero convencional con un promedio de 22.21 frutos por planta a diferencia del invernadero convencional donde se contabilizo 13.77 frutas en promedio por planta en la semana 8 (Figura 25).

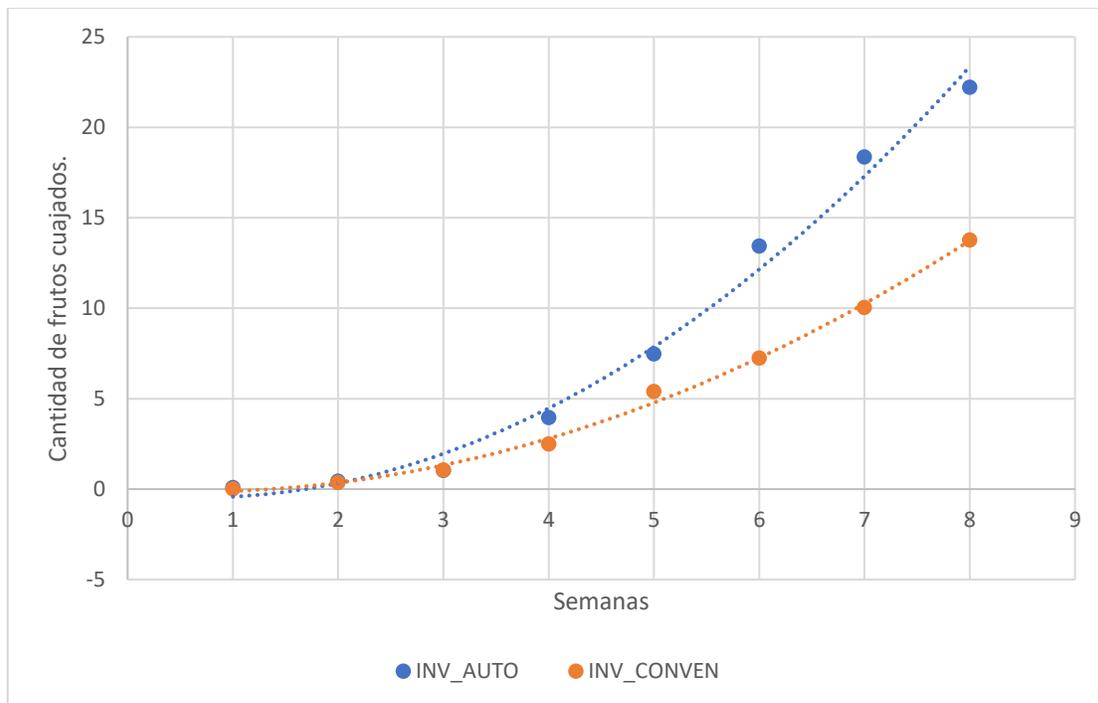


Figura 25. Gráfico comparativo sobre características agronómicas del cultivo, correspondiente a cantidad de cuajado de frutos en las semanas de estudio.

**Conductancia estomática.**

Al evaluar la característica agronómica correspondiente a la conductancia estomática, los datos se tomaron el mismo día con variación de tiempo cortas. Esta variable demuestra los efectos de la conductancia estomática y la ventilación sobre el cultivo, los datos analizados demostraron que en esa hora del día (aprox. 12 am) los dos tratamientos (invernaderos) tuvieron una conductancia estomática que seguía una tasa de transpiración similar, así mismo una absorción de carbono idéntica.

Al evaluar la característica agronómica correspondiente a conductancia estomática, los dos invernaderos presentaron diferencias estadísticas significativas, teniendo así, un valor $p=0,0434$ (Tabla 19).

Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	gl	p-valor	prueba
CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA	{INV_AUTO}	{INV_CONVEN}	3	3	249,33	162,47	4	0,0434	Bilateral

Tabla 19. Prueba t de student para datos agronómicos correspondiente a conductividad estomática.

En la comparación de medias tenemos que el invernadero semiautomatizado presenta conductancia estomática mayor con un valor medio de 249,33 en $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, diferenciándolo del invernadero convencional que presento un valor medio de 162,67 en $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Dando como resultado un mejor desempeño de las plantas en el invernadero semiautomatizado (Figura 26).

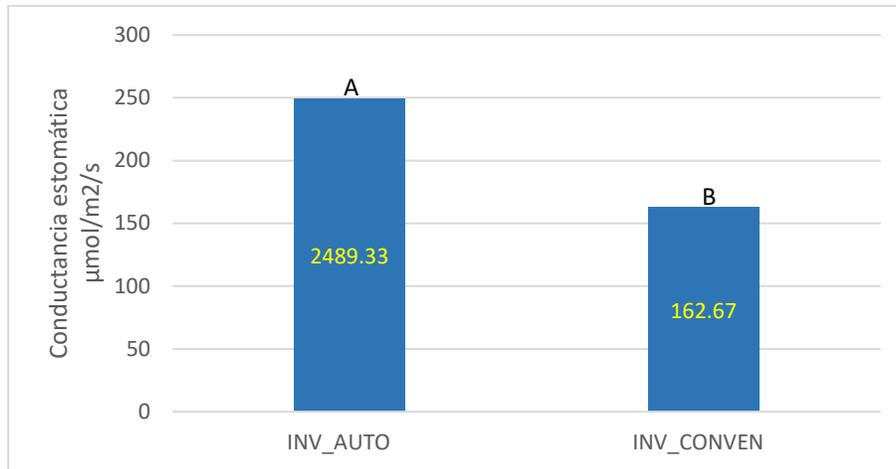


Figura 26. Comparación de medias para características agronómicas, correspondiente a conductancia estomática, entre los diferentes invernaderos (semiautomatizado y convencional).

Cantidad de tomates por cosecha.

En la evaluación de tomates por cosecha, el análisis realizado con pruebas de t de student mostro que existe diferencias significativas con relación a la cantidad de tomate cosechado entre invernaderos. En la variable invernaderos se observa una diferencia estadística con valor $p < 0,0001$ (Tabla 20). Teniendo en base a su media mayor cantidad de frutos cosechados en el invernadero semiautomatizado.

Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	gl	p-valor	prueba
FRUTOS COSECHADOS	{INV_AUTO}	{INV_CONVEN}	4	4	18,41	4,83	6	<0.0001	Bilateral

Tabla 20. Prueba t de student para datos agronómicos correspondiente a cantidad de frutos cosechados.

El promedio de frutos por planta al final del experimento para el invernadero semiautomatizado fue 42.4 y para el sistema convencional de 8.52 frutos cosechados por planta, los datos fueron registrados hasta cuarta cosecha (Figura 27).

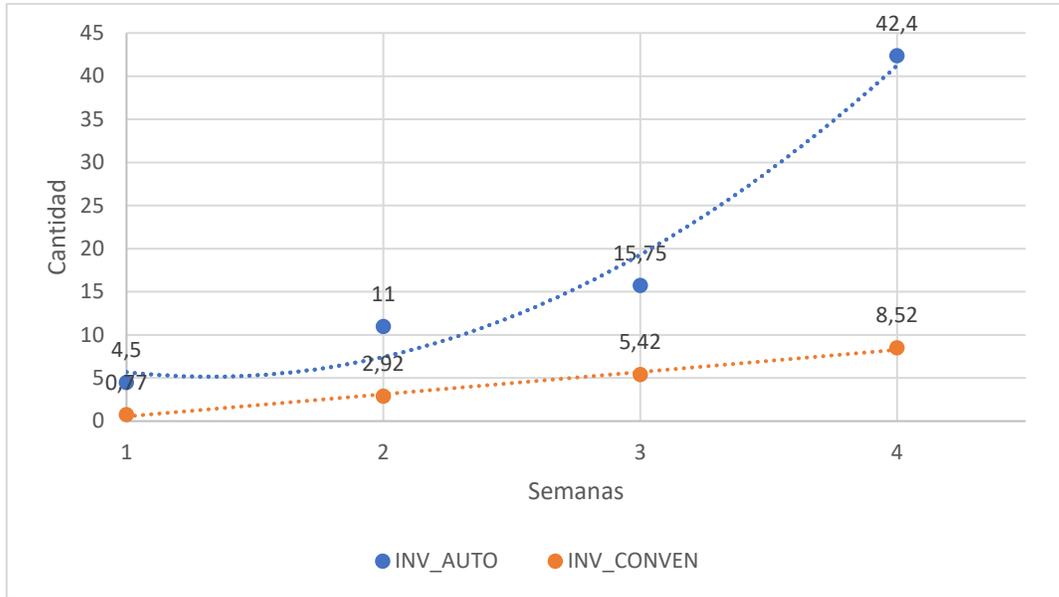


Figura 27. Cantidad de tomates obtenidos durante las primeras cosechas con valor $p < 0,05$ en los dos invernaderos estudiados.

Con estos datos, se considera que el efecto de la ventilación influyó de manera positiva en el rendimiento de las plantas, teniendo en cuenta que las alturas de las plantas y el cuajado de los frutos influye directamente en la cantidad de tomates cosechados. En la Figura 28 se puede observar la diferencia entre las cantidades de tomate cosechado y el estado de este.



Figura 28. Estado de tomate cosechado.



CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

Comprobación del desempeño del algoritmo y análisis de la respuesta de los parámetros microclimáticos

La comprobación del desempeño del algoritmo en el control de los parámetros del microclima fue realizada mediante la toma de datos puntuales con los prototipos de recolección de datos tanto de temperatura como humedad relativa.

Temperatura

La temperatura obtenida en los sensores fue analizada en base a temperaturas óptimas para el desarrollo del cultivo de tomate según Robinson (2011).

Barrera, Herrero y Menraz (2014), hablan de que el metabolismo de las plantas está profundamente afectado por los cambios de temperatura medioambiental, en nuestro invernadero existe diferencia entre tratamientos en la temperatura promedio registrada. Los tratamientos T1 y T2 cada uno con promedios de 19.21 °C y 26.25 °C. El tratamiento con T3 alcanzó un promedio de temperatura de 32.50 °C. son datos que representan cambios de temperatura, afectando directamente el metabolismo de las plantas en los diferentes tratamientos, teniendo a consideración, que T1 tuvo un mejor desarrollo y, por ende, mejores alturas y producción. Las temperaturas excesivas, pueden ser difíciles de controlar por ventilación natural (Roca, 2011). Según Velazco (2008), la temperatura óptima para el cultivo de tomate se encuentra entre 21 °C y 26 °C. Pese a esto, las plantas se ven afectadas cuando existen temperaturas menores a 15 °C ya que se detiene la floración, y superiores a 35 °C en que disminuye la actividad fotosintética. Y los resultados de este estudio muestran temperaturas promedio, que, si tal vez no se encuentran en el rango óptimo, no están en los extremos en donde causan impactos fisiológicos negativos a la planta.

Humedad Relativa.

La humedad relativa se registró de igual forma que la temperatura, mediante sensores instalados en los invernaderos y en la parte externa. Concordamos con Barrera, Herrero y Menraz (2014), en un ambiente muy seco las plantas deben incrementar la transpiración por lo que absorben mucha agua del suelo, y en ambientes muy húmedos, las plantas



reducen su transpiración, lo que los datos de conductancia estomática nos indican que las plantas estuvieron gastando equivalente cantidad de energía y transpirando una cantidad de humedad similar, gasta agua pero también toma dióxido de carbono, lo que significa que la planta está trabajando, realizando fotosíntesis y en su momento formación y llenado de frutos. Velasco (2011) menciona que la humedad relativa óptima en el cultivo de tomate se ubica entre 50 % y 60 %. A esta humedad se favorece la polinización de las flores. Porcentajes de humedad relativa superiores a 70 % hacen que se hinchen las anteras y el polen no pueda liberarse, causando caída de la flor. Además, porcentajes superiores al 80 % favorecen el desarrollo de enfermedades fungosas como *Phytophthora infestans*, *Alternaria solani* y *Botrytis sp*, como fue en el caso del invernadero (T2), así, hemos obtenido datos de Humedad 1 (H1) o invernadero semiautomatizado, T1: 53.05 %, lo que nos coloca en condiciones aceptables para la producción de tomate, Humedad 2 (H2) o invernadero convencional, T2: 76.60 %, evidenciándose alta presencia de hongos en el tratamiento T2 (Figura 41), y humedad 3 (H3) o Testigo, 25.25 %, que fue la humedad ambiental.

Análisis de los aspectos agronómicos del cultivo

Altura de plantas

En esta variable se observa que el tratamiento con plantas más altas es T1, sin embargo, es estadísticamente igual a la altura de T2.

Con respecto a la relación entre altura de planta y el número de frutos cuajados, se observa una correlación directa entre estas dos variables. T1 y T2 fueron similares en altura de plantas, pero T2 obtuvo promedios más altos en esta variable, con esto T1 logró el mayor número de racimos, mientras que T2 tuvo promedios de menor altura y también menor número de racimos. Jaramillo (2015) obtuvo datos similares, entre la variable de altura de planta y el número de racimos, se observa una relación directa entre ambas, en plantas más grandes se logra obtener más racimos en el mismo tiempo de cosecha.

El crecimiento de la planta se constituye en un fiel reflejo de que en ella tienen lugar una serie de cambios estructurales de tamaño, peso y forma específicos, que ocurren de acuerdo con los patrones de división celular y diferenciación, los cuales no pueden considerarse fuera del contexto ambiental. (Rodríguez L. , 2000).



En general, se pudo observar que en el invernadero semi automatizado T1, existió visual y estadísticamente, diferencias, en ciertos casos. El tratamiento con mejores resultados fue el tratamiento T1, que obtuvo datos más cercanos a los datos óptimos para el cultivo.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

No todos los invernaderos son iguales, y las condiciones regionales deben ser evaluadas acorde a las necesidades específicas de cada cultivo y su fin.

La agricultura en invernadero se encamina a un mayor y mejor control del microclima, como su nombre lo dice, esto implica mejoras estructurales de materiales de cubierta, ventilación, riego, etc, con mejoras de las propiedades mecánicas.

En este estudio el invernadero semiautomatizado presentó diferencias significativas tanto visual como estadística. El tratamiento con mejores resultados fue en general el tratamiento T2, que obtuvo datos más cercanos a los óptimos para el cultivo de tomate, que si bien, no son exactamente iguales según las recomendaciones o bibliografía consultada, se apegan bastante a ellos, dándonos resultados que confirman que el invernadero semiautomatizado fue el tratamiento con mejores resultados.

Dado que se empleó un algoritmo que permite el control de los parámetros microclimáticos al interior del invernadero, no se da una fluctuación drástica en dichos parámetros, es decir, se tiene un control a diferencia del invernadero convencional donde la variación de la temperatura y humedad relativa se elevan exageradamente y se mantiene fuera de los límites establecidos por mucho tiempo, afectando de esta forma los procesos de desarrollo normal del cultivo.

Se puede concluir que al implementar un sistema de control microclimático dentro de un invernadero se obtienen resultados representativos, tanto en producción como en desarrollo del cultivo, obteniendo de esta forma valores que simbolizan la inversión.

Debido a la cantidad de variables que pueden afectar y verse afectadas dentro de este proyecto y con el afán de que haya una mejora, recomendamos a futuros estudiantes o investigadores que tengan interés en el trabajo, la complementación del sistema con mejoras en las condiciones externas e internas, modificaciones en los prototipos, como por ejemplo tener en cuenta los datos cercanos a la temperatura de activación, debido a que



fisiológicamente las plantas tienen comportamientos similares en variaciones de temperatura muy cortas, también se recomienda la replicación en condiciones diferentes probando el sistema en zonas disímiles.

REFERENCIAS

Agromática. (2021). Guía del cultivo del tomate . Obtenido de EL CULTIVO DEL TOMATE.:
<https://www.agromatica.es/cultivo-de-tomates/>

Agrotendencia. (04 de noviembre de 2019). Cultivos protegidos. Obtenido de
<https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivos-protegidos/>

Barrera, E.; Herrero, R.; Menraz, A. (2014). INVERNADERO INTELIGENTE. Mexico, DF.

Basaure, P. (30 de noviembre de 2004). Diseño de un invernadero. Obtenido de Altura de un invernadero:
<http://www.manualdelombricultura.com/wwwboard/messages2/7461.html>

Cádiz, B. (18 de octubre de 2019). Diario Bahía. Obtenido de Cómo y por qué proteger las plantas y los cultivos de las inclemencias del tiempo.:
<https://www.diariobahiadecadiz.com/noticias/el-resto-del-mundo/como-y-por-que-proteger-las-plantas-y-los-cultivos-de-las-inclemencias-del-tiempo/>

Caldari, P. (2007). Manejo de la luz en invernaderos. Brasil.

Certis. (23 de mayo de 2017). Plagas y enfermedades del tomate. Obtenido de
<http://www.certisagrosostenible.es/plagas-y-enfermedades-del-tomate/>

Chora, D., Álvarez, S., & Espinoza, M. (2018). Raspberry Pi y Arduino: semilleros en innovación tecnológica para la agricultura de precisión. Revista de tecnologías de la informática y las telecomunicaciones. .

Cuenca., G. A. (2011). Mapa Santa Ana. 11.

Dominguez, e. a. (Diciembre de 2010). Los PCM en los invernaderos. Obtenido de INVERNADEROS CON ACUMULADORES DE:
<http://digital.csic.es/bitstream/10261/30653/1/INVERNADEROS%20CON%20PCM.pdf>



- Espinosa, O., Villavicencio, G., & Diaz, L. (2013). PAQUETE TECNOLÓGICO PARA EL MONITOREO AMBIENTAL EN INVERNADEROS CON EL USO DE HARDWARE Y SOFTWARE LIBRE. Index Words.
- FAO. (2002). El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo. Obtenido de CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE: <http://www.fao.org/3/s8630s/s8630s00.htm#Contents>
- Flores. J, & Villareal. F. (2015). Diseño de un sistema de ventilación forzada para un invernadero cenital usando CFD. Scielo, 1.
- Globalinvernaderos. (2020). Greenhouses. Obtenido de Invernadero Capilla: <https://globalinvernaderos.com/invernadero-capilla/>
- Guerrero, P. (2012). Climatología, geografía general. Geografía, 1.
- Horticultivos. (26 de 07 de 2017). HORTICULTIVOS. Obtenido de Principales tipos de invernaderos: <https://www.horticultivos.com/featured/principales-tipos-invernaderos/>
- Jaramillo, e. (2007). Producción de tomate bajo condiciones protegidas. Obtenido de Producción de tomate bajo invernadero : <http://www.fao.org/3/a-a1374s.pdf>
- Jaramillo, J. (2015). Altura de las plantas . En J. Jaramillo, Evaluación agronómica del cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum*) bajo tres diferentes coberturas plásticas. (págs. 43-44). Quito.
- Jimenez, R. y. (2005). Relaciones hídricas e intercambio de gases en *Theobroma cacao* var. Guasare bajo períodos de déficit hídrico.
- Larrazabal, M. (2020). Agrobialar. Obtenido de Tipos de invernadero, doble capilla.: <https://www.bialarblog.com/tipos-de-invernadero-clasificacion-caracteristicas/>
- Magdalena, E. C. (2010). “Manual de agricultura de precisión”.
- Marín, P. (2013). Agroalimentando.com. Obtenido de Compendios y manuales para diseñar y construir distintos tipos de invernaderos.: <https://agroalimentando.com/nota/7891#:~:text=Para%20elegir%20el%20lugar%20donde,ser%20propensa%20a%20inundaciones%20estacionales.>



- Martínez, S. (2007). Tipo de suelo. En S. Martínez, Conjunto Tecnológico para la Producción de Tomate de Ensalada (pág. 2). Puerto Rico.
- Merlyn, L. (2016). Invernaderos. Obtenido de Ventajas de un invernadero de raspa y amagado: <https://comunidad.leroymerlin.es/t5/Foro-Jardiner%C3%ADa/C%C3%B3mo-crear-un-mini-jard%C3%ADn-en-tu-maceta-rota/td-p/102404>
- Montero, J., Antón, A., & Muñoz, P. (2010). REFRIGERACIÓN DE INVERNADEROS II . Centre de Cabrils.
- Novagric. (2016). Invernaderos Automatizados e Inteligentes. SINION, 1.
- Reyes, E. (2018). Sectores de la industria Ventilación. GRUPO EDITORIAL PUNTUAL MEDIA.
- Robert, P. (2002). Agricultura de precisión: un desafío para el manejo de la nutrición de los cultivos. En P. Robert, Planta y suelo (págs. 143–149).
- Robinson, J. (2011). Temperatura: Productividad en el cultivo de tomate. Hortalizas , 1.
- Roca, D. M. (2011). El control del clima de los invernaderos de plástico. Un enfoque actualizado. En D. M. Roca. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez, L. (2000). Densidad de población vegetal y producción de materia seca. Revista Comalfi , 27 (1-2), 31-37.
- Rodríguez, R. S. (2019). CARACTERIZACIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA TERMOPAR, TERMISTOR Y RTD. Caldas, Colombia . Obtenido de Universidad Distrital Francisco José de Caldas: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7302/RodriguezRodriguezLuis%20Alberto2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchea, R. (30 de Enero de 2012). definicion de invernadero. Obtenido de http://invernaderosramon.blogspot.com/2012/01/definicion-de-invernadero_30.html
- Sciutto, E., & Mascareña, J. (2000). Proyecto Calafate. Obtenido de Sistema de control automático de temperatura y ventilación de un Invernadero.: <http://www.invernadero.8m.net/capitulo1.html>



Serrano, Z. (2005). Construcción de invernaderos. Obtenido de Orientación de un invernadero:

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Glip3Q7T9mEC&oi=fnd&pg=PA3&dq=orientacion+de+un+invernadero&ots=Q2qEt8v5nO&sig=NDYBuCWkKbC9WH-g85posq9YnYc#v=onepage&q=orientacion%20de%20un%20invernadero&f=false>

Velasco, N. &. (2011). Cultivo del tomate en hidroponía e invernadero. México: BBA., 40.

Velazco, L. S. (2008). Incidences and progression of tomato chlorosis virus disease and tomato yellow leaf curl virus disease in tomato under different greenhouse covers in southeast Spain. *Annals of Applied Biology.*, 37-38.



ANEXOS

Anexo 1.



ESTACION EXPERIMENTAL DEL AUSTR0
LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
 km 12 1/2 via El Descanso - BULLCAY - Gualaceo www@iniap.gob.ec
 Azuay - Ecuador TeleFax: (07) 2171161



INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO				DATOS DE LA PROPIEDAD				DATOS DE LA MUESTRA			
Nombre :	RAFAEL ZHUNI			Nombre :				Fecha Muestreo :	15/11/2019		
Dirección :				Provincia :	AZUAY			Fecha Ingreso :	16/11/2019		
Ciudad :	CUENCA			Parroquia :	SANTA ANA			Fecha Emisión :	29/11/2019		
Teléfono :	N/E	Correo-e :	N/E	Ubicación :	SANTA ANA CENTRO			Cultivo Actual :	BARBECHO		
Técnico :	TESISTA			Latitud :							
				Longitud:							

Nº Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm					ppm				mg/100ml			
			N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Σ Bases	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K
6231		6.8 PN	13.47 B	120.88A	0.87 A	21.43 A	13.69 A	7.9 M	4.7 M	53.0 A	17.1 A	35.99	1.57 B	15.74 A	40.37 M

Interpretación		
N, P, K, Ca, Mg, S	Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl	pH
B = Bajo	MAc = Muy Acido	N = Neutro
M = Medio	Ac = Acido	LAl = Lig. Alcalino
A = Alto	MeAc = Med. Acido	MeAl = Med. Alcalino
	LAc = Lig. Acido	Al = Alcalino
	PN = Prec. Nitrato	RC = Resquezo Cal

Determinación	Metodología	Extractante
N, P	Colorimetría	Olson
K, Ca, Mg	Absorción	Modificado
Zn, Cu, Fe, Mn	Atómica	pH 8.5
pH	Potenciométrica	Suelo: agua (1:2.5)
S	Turbidimetría	Fosfato de Ca
B	Colorimetría	Monobásico

Niveles Medios de Referencia					
N	20 - 40	Mg	1.0 - 3	Fe	20 - 40
P	10 - 20	S	10 - 20	Mn	5 - 10
K	0.2 - 0.4	Zn	4.0 - 8.0	B	0.5 - 1.0
Ca	4 - 8	Cu	1.0 - 10.0	Cl	-

Responsable Laboratorio

N/E = No entrega
Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento, los datos deberán ser apropiadamente citados.


Laboratorista
 LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
 Fecha de Impresión: 03/12/2019

Figura 29. Resultados de análisis de suelos.

Fuente: INIAP 2020



Anexo 2.

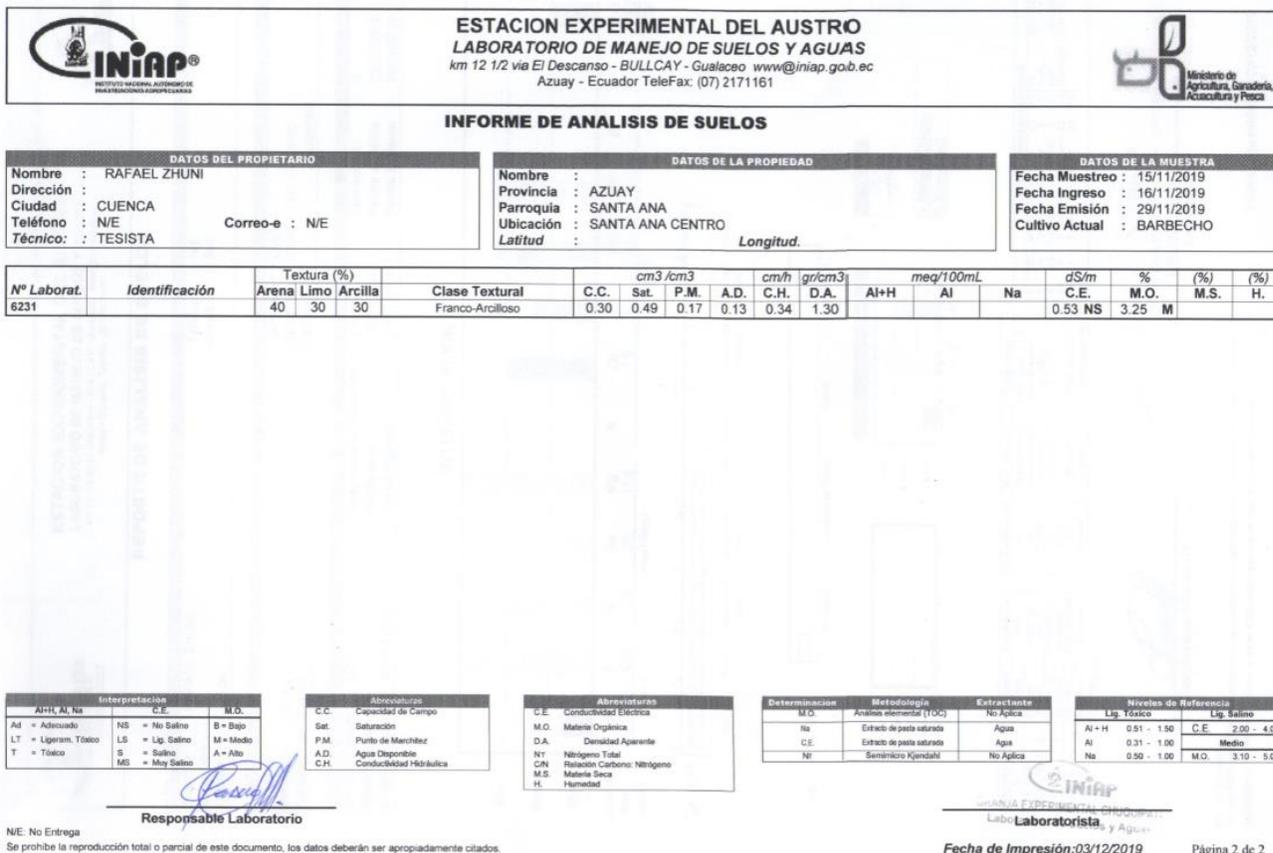


Figura 30. Resultados de análisis de suelos.

Fuente: INIAP 2020

Anexo 3.



Figura 31. Estado inicial del invernadero

Anexo 4.



Figura 32. Preparación de suelo

Anexo 5.

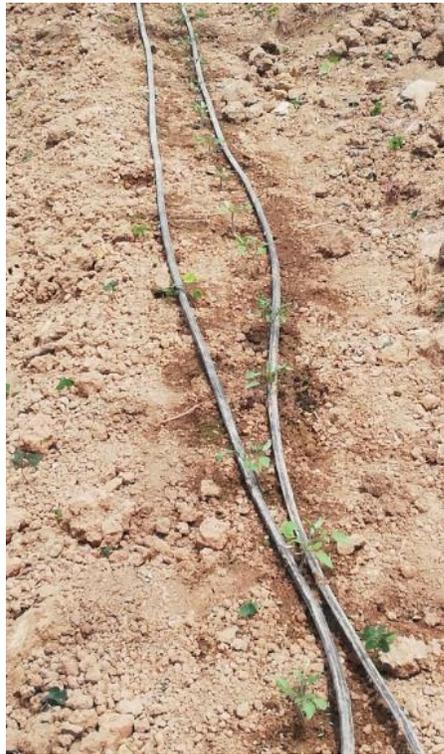


Figura 33. Siembra y pruebas de riego por goteo en las parcelas.

Anexo 6.



Figura 34. Pruebas de apertura y cierre de cortina.

Anexo 7.



Figura 35. Plantas de tomate en crecimiento.

Anexo 8.



Figura 36. Toma de datos de Temperatura y Humedad relativa.

Anexo 9.



Figura 37. Manejo agronómico del cultivo (tutoreo).

Anexo 10.

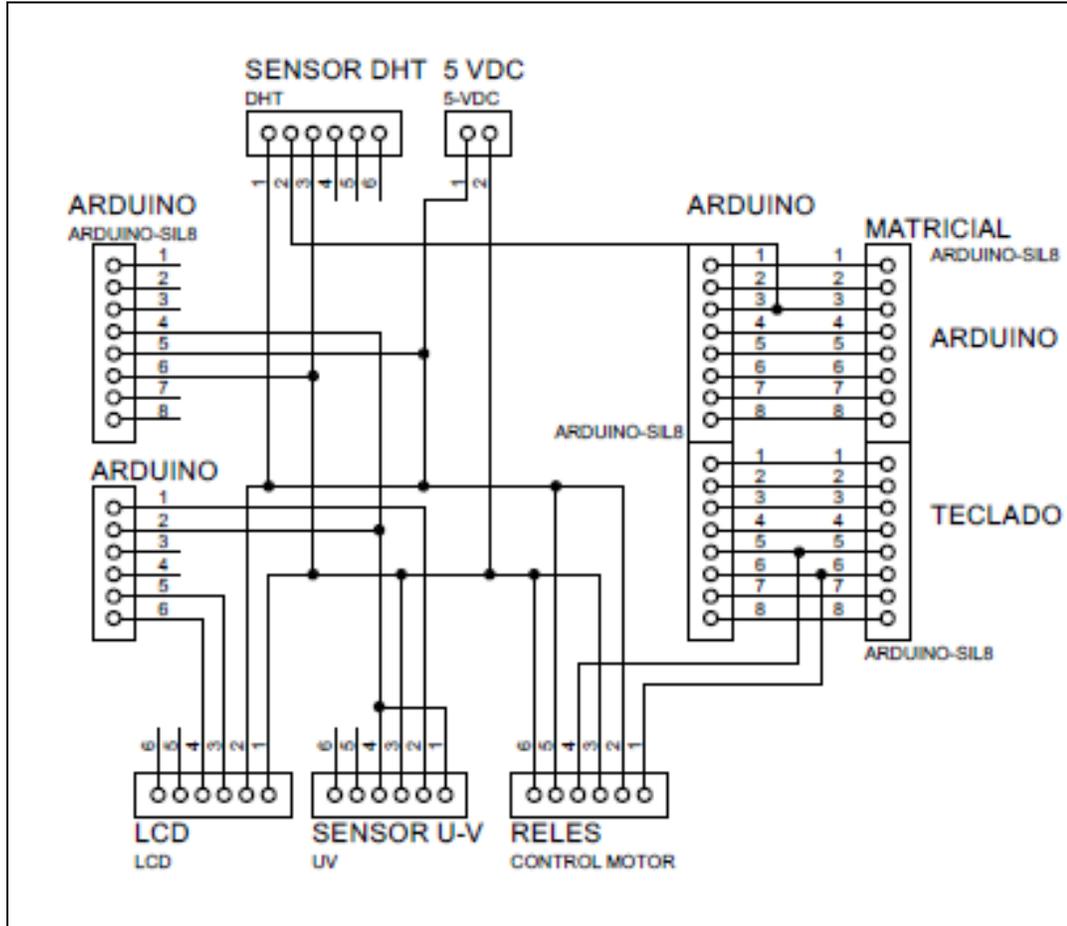
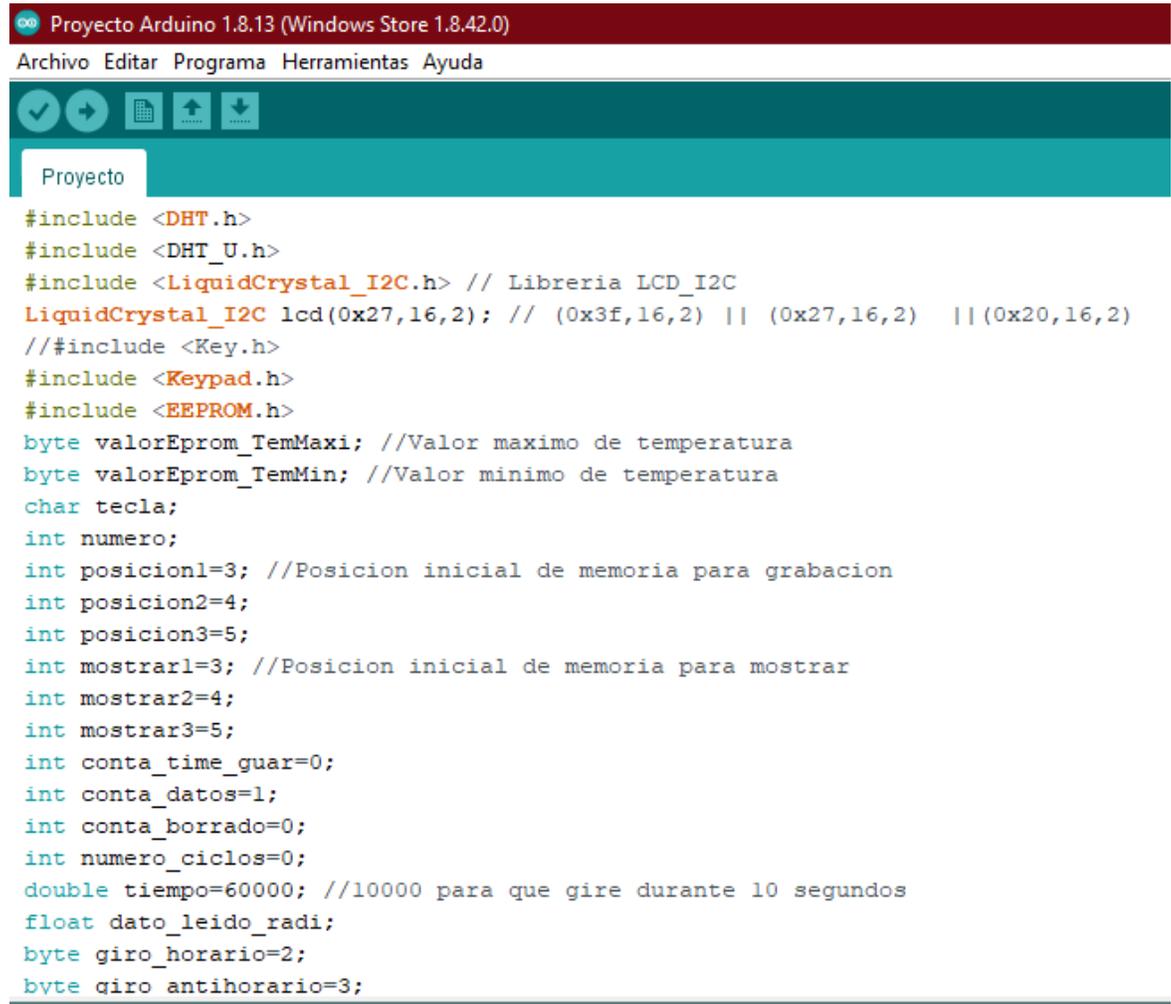


Figura 38. Diseño eléctrico del prototipo.

Anexo 11.



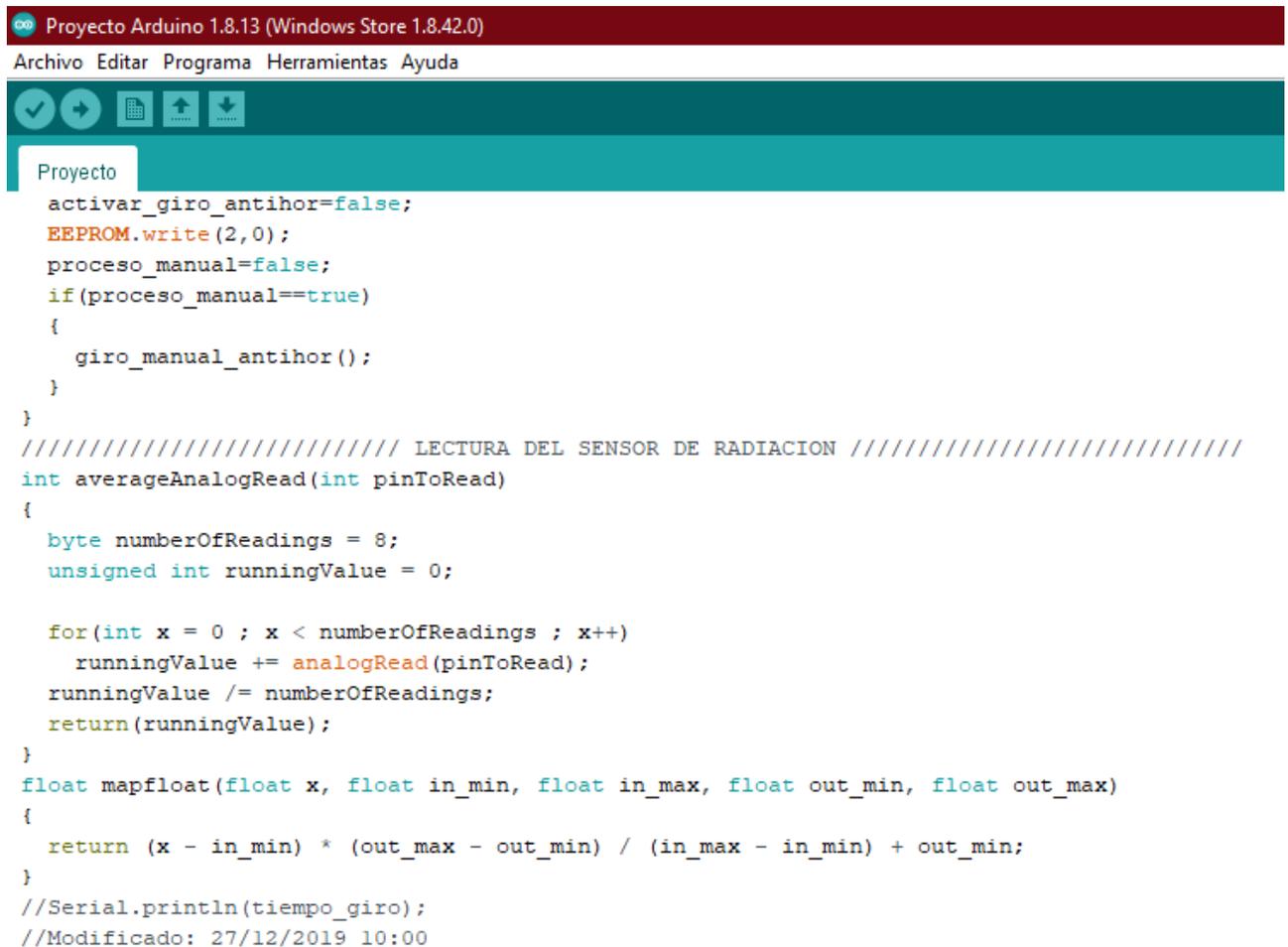
```
Proyecto Arduino 1.8.13 (Windows Store 1.8.42.0)
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Proyecto

#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Libreria LCD_I2C
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // (0x3f,16,2) || (0x27,16,2) || (0x20,16,2)
//#include <Key.h>
#include <Keypad.h>
#include <EEPROM.h>
byte valorEprom_TemMaxi; //Valor maximo de temperatura
byte valorEprom_TemMin; //Valor minimo de temperatura
char tecla;
int numero;
int posicion1=3; //Posicion inicial de memoria para grabacion
int posicion2=4;
int posicion3=5;
int mostrar1=3; //Posicion inicial de memoria para mostrar
int mostrar2=4;
int mostrar3=5;
int conta_time_guar=0;
int conta_datos=1;
int conta_borrado=0;
int numero_ciclos=0;
double tiempo=60000; //10000 para que gire durante 10 segundos
float dato_leido_radi;
byte giro_horario=2;
byte giro_antihorario=3;
```

Figura 39. Programación del prototipo

Anexo 12.



```
Proyecto Arduino 1.8.13 (Windows Store 1.8.42.0)
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Proyecto
  activar_giro_antihor=false;
  EEPROM.write(2,0);
  proceso_manual=false;
  if(proceso_manual==true)
  {
    giro_manual_antihor();
  }
}
////////////////////// LECTURA DEL SENSOR DE RADIACION ////////////////////////
int averageAnalogRead(int pinToRead)
{
  byte numberOfReadings = 8;
  unsigned int runningValue = 0;

  for(int x = 0 ; x < numberOfReadings ; x++)
    runningValue += analogRead(pinToRead);
  runningValue /= numberOfReadings;
  return(runningValue);
}
float mapfloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
{
  return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}
//Serial.println(tiempo_giro);
//Modificado: 27/12/2019 10:00
```

Figura 40. Programación del prototipo

Anexo 13.



Figura 41. Hongos encontrados en plantas del invernadero convencional T2 (*Oidium sp.*).

Anexo 14.



Figura 42. Frutos cuajados.

Anexo 15.



Figura 43. Frutos maduros.

Anexo 16.



Figura 44. Manejo agronómico del cultivo (deshoje).

Anexo 17.



Figura 45. Toma de datos del cultivo (conductancia estomática).

Anexo 18.

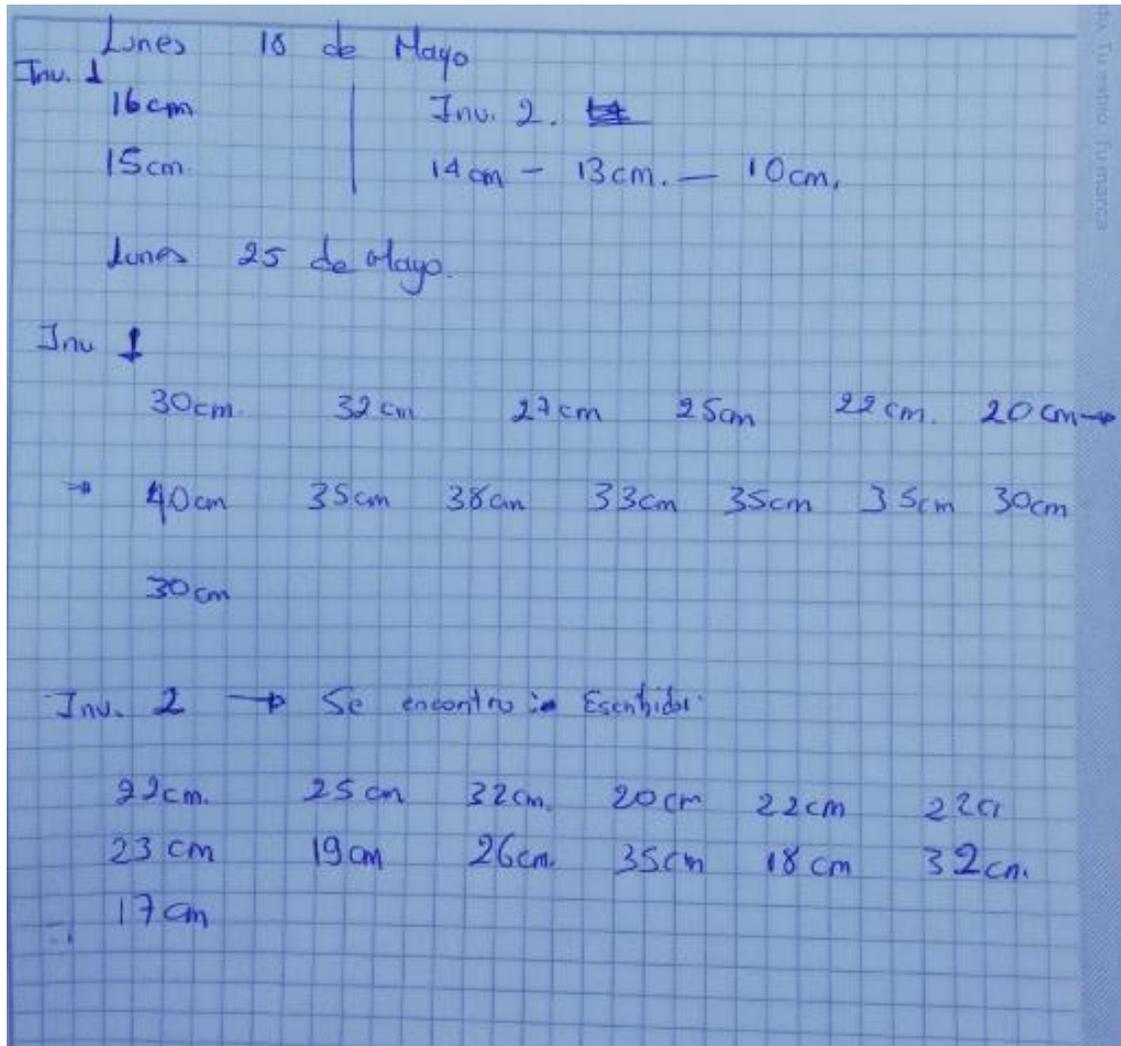


Figura 46. Toma de datos de Alturas de las plantas.



Anexo 19.

N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
TOMA DE DATOS CADA HORA										PROMEDIO DE DATOS POR HORA								
PROTOTIPO 1			PROTOTIPO 2			PROTOTIPO 3			HORA	TEMPERATURA			HUMEDAD RELATIVA			U.V		
T1	H1	R1	T2	H2	R2	T3	H3	R3	HORA	T1	T2	T3	H1	H2	H3	R1	R2	R3
19,666667	51,666667	0,1433333	26,833333	13,833333	0,3783333	34,166667	66,666667	-0,06	17	13,488889	17,5	19,293103	49,609195	22,827586	72,62069	0,0791954	-0,0108391	0,0883046
14,333333	66,666667	0,1466667	23	16,333333	0,135	27,166667	75,833333	-0,1066667	18	12,888889	16,316092	17,752874	50,856322	25,551724	78,534483	0,0789655	-0,0175402	0,0859195
13,166667	72	0,15	21,833333	33,166667	0,0766667	25,166667	88,666667	-0,1066667	19	12,527778	15,005747	16,482759	52,16092	29,201149	82,034483	0,0818046	-0,0158966	0,0540805
14,833333	68,333333	0,1483333	22	33,333333	0,07	19,333333	91	-0,0866667	20	12,45	14,063218	15,385057	51,373563	31,672414	83,908046	0,0802874	-0,0242529	0,0771724
13,166667	70,5	0,15	19	41,333333	-0,0166667	15,5	91,5	-0,0866667	21	11,933333	13,114943	14,431034	53,977011	34,051724	85,137931	0,0745977	-0,0396437	0,0554885

Figura 47. Organización de datos de Temperatura, clasificados por horas.



HORA	HUMEDAD RELATIVA MAXIMA			HUMEDAD RELATIVA MINIMA			HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO		
	HRMAX1	HRMAX2	HRMAX3	HRMIN1	HRMIN2	HRMIN3	HRPROM1	HRPROM2	HRPROM3
1	91	92	68	19	33	15	61,600	87,003	33,181
	98	92	69	18	43	16	62,730	86,668	33,647
	87	92	69	17	14	14	62,412	85,668	33,483
	85	92	67	17	32	9	60,225	83,889	29,142
5	85	92	78	18	4	7	57,273	75,052	22,907
	85	91	65	18	17	7	54,778	67,017	20,298
	82	92	65	18	16	7	51,174	58,976	18,764
	77	91	67	17	16	5	48,402	56,488	19,027
10	76	92	67	18	16	5	47,246	52,626	18,696
	70	92	44	18	20	10	45,327	52,484	18,327
	68	91	38	19	0	8	46,030	58,427	19,625
	69	40	45	20	16	9	46,757	68,533	21,213
15	70	37	48	19	17	10	46,419	77,679	22,497
	69	91	49	19	27	13	47,573	83,248	23,050
	69	91	50	16	48	10	50,347	85,452	23,709
	68	92	52	17	29	12	51,976	85,328	24,314
20	68	92	46	19	16	8	48,215	75,951	22,504
	78	91	48	19	18	7	50,351	81,825	24,327
	78	92	50	18	14	8	51,875	84,344	26,492
	72	92	51	17	20	9	51,879	84,832	27,663
24	73	92	52	17	23	14	54,226	85,652	28,898
	90	91	67	18	12	17	56,178	86,090	30,232
	89	91	66	19	33	18	59,163	87,433	31,260
24	88	91	67	19	59	19	61,120	87,729	32,636

Figura 48. promedio general de humedad relativa por hora.



HORA	TEMPERATURA MAXIMA			TEMPERATURA MINIMA			TEMPERATURA PROMEDIO			T.MIN.ABS	T.MAX.ABS
	TMAX1	TMAX2	TMAX3	TMIN1	TMIN2	TMIN3	TPROM1	TPROM2	TPROM3		
1	19	18	19	5	6	7	9,725	11,543	12,844	16	28
	14	19	17	6	6	8	9,491	11,451	12,420	16	28
	16	19	18	6	6	7	9,656	11,334	12,366	16	28
	16	32	25	5	6	6	10,465	13,110	14,030	16	28
5	18	37	34	7	8	7	11,854	16,539	17,019	16	28
	20	39	43	8	10	11	12,935	19,095	19,849	16	28
	20	38	45	8	10	11	13,819	21,839	23,302	16	28
	21	39	49	8	10	11	14,169	23,444	25,676	16	28
10	21	39	48	8	10	12	14,346	24,709	27,344	16	28
	20	35	45	8	13	14	14,506	24,955	27,558	16	28
	19	34	48	8	15	16	14,800	24,121	26,966	16	28
	19	40	49	8	14	15	14,925	23,457	25,881	16	28
15	25	37	45	7	13	14	15,050	23,653	26,240	16	28
	23	32	45	6	12	14	14,960	23,293	25,706	16	28
	21	34	43	9	12	13	14,622	22,449	25,270	16	28
	25	33	40	8	11	12	14,533	21,725	23,887	16	28
20	21	33	47	11	12	13	14,344	20,104	22,259	16	28
	20	30	43	9	11	12	13,737	18,197	20,193	16	28
	19	29	38	8	10	12	12,711	16,890	18,647	16	28
	19	27	37	8	9	11	12,276	15,589	17,350	16	28
24	18	28	35	7	8	9	11,703	14,382	15,837	16	28
	20	25	27	7	7	9	11,332	13,426	14,983	16	28
	18	19	23	6	7	8	10,590	12,641	14,023	16	28
	15	18	21	6	6	7	9,971	11,893	13,408	16	28

Figura 49. promedio general de temperatura por hora.



SEMANA	INVERNADERO SEMI-AUTOMATIZADO			INVERNADERO CONVENCIONAL		
	ALTURA	CANTIDAD DE FRUTO	CANTIDAD DE FRUTO POR COSECHA	ALTURA	CANTIDAD DE FRUTO	CANTIDAD DE FRUTO POR
1	15,000	0,083	36	15,00	0,000	6
2	25,389	0,438	88	24,184	0,354	23
3	35,813	1,042	126	30,813	1,063	43
4	47,688	3,958	339	38,813	2,500	68
5	64,896	7,479		56,292	5,396	
6	84,938	13,438		76,542	7,250	
7	93,000	18,354		81,979	10,042	
8	104,396	22,208		90,292	13,771	
9	116,229			97,438		
10	130,979			107,917		
11	139,000			115,125		
13	194,854			167,9583333		

Figura 50. Datos agronómicos del cultivo.