



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

Evaluación de las variables microclimáticas de invernaderos y correlación con variables fisiológicas del tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*) en la zona de Paute-Guachapala

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

Autora:

Carla Tatiana Campoverde Astudillo

CI: 0104727409

Correo electrónico: carla.campoverde@hotmail.com

Director:

Eduardo José Chica Martínez

CI: 0912795101

Cuenca, Ecuador

09-abril-2021



RESUMEN

En los cantones Paute y Guachapala de la provincia del Azuay, se produce tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*) bajo invernadero, pero se conoce muy poco sobre las relaciones entre el microclima del invernadero y la producción de este cultivo en esta zona. En este estudio se evaluaron las variables microclimáticas de invernaderos y su correlación con variables fisiológicas del tomate en etapa reproductiva, para esto se registró la temperatura y humedad relativa dentro y fuera de seis invernaderos durante una semana, se midieron variables fisiológicas (altura de planta, número y diámetro de frutos, diámetro de tallo), se describieron los invernaderos y se analizaron las correlaciones entre las variables microclimáticas y fisiológicas. Según los resultados obtenidos, todos los invernaderos, presentaron una estructura tipo capilla en sus diferentes variaciones: doble capilla, multicapilla y de techos planos a dos aguas, además los invernaderos ubicados a mayor altitud tienden a una mejor producción y microclima para el desarrollo del cultivo, debido a que presentaron el mayor número de frutos, altura de la planta y diámetro del tallo. También se observó que los invernaderos no se encuentran optimizados ya que, en el exterior la temperatura se encuentra principalmente por debajo del rango óptimo mientras que, en el interior se tiene un aumento de temperatura, lo que señala que no se corrigen los rangos de bajas y altas temperaturas y no se incrementa el rango óptimo adecuado en el que las plantas deberían encontrarse dentro de los invernaderos.

Palabras clave: Humedad relativa. Temperatura. Microclima. Déficit de presión de vapor.



ABSTRACT

In Paute and Guachapala cantons in Azuay, tomato (*Solanum lycopersicum*) is typically grown in greenhouses; however, little is known about the relationships between the greenhouse microclimate in this area and crop productivity. In this study, greenhouses microclimatic variables and their correlations with crop physiological variables during the reproductive stage were evaluated. Temperature and relative humidity were recorded inside and outside six greenhouses during one week, physiological variables (plant height, number and diameter of fruits, stem diameter) were measured in ten plants, and design and construction characteristics of the greenhouses were described; afterwards correlations between the microclimatic, design and physiological variables were analyzed. All the greenhouses had chapel-like structures in its different variations: double chapel, multi-span and flat gable roofs. In addition, the greenhouses located at higher altitudes tended to have a greater production and more favorable microclimate for the development of the crop. These greenhouses registered the highest number of fruits, plant height and stem diameter. The results suggest that the greenhouses studied might not be being effective in optimizing the microclimate for tomato growth but just trading below-optimal temperatures registered in the outside for above-optimal temperatures registered inside the greenhouses, but no increasing the amount of time under optimal temperature conditions for crop growth.

Keywords: Relative humidity. Temperature. Microclimate. Vapor pressure deficit.



Índice del Trabajo

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	2
ABSTRACT	3
TABLA DE CONTENIDOS	4
LISTA DE TABLAS.....	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
AGRADECIMIENTOS	11
DEDICATORIA	12
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA.....	13
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO II: OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo general	17
2.2 Objetivos específicos	17
CAPÍTULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 Tomate de mesa (<i>Solanum lycopersicum L.</i>)	18
3.2 Requerimientos climáticos	18
3.2.1 Altitud	18
3.2.2 Temperatura	18
3.2.3 Humedad relativa	19
3.2.4 Déficit de Presión de Vapor (DPV).....	19
3.3 Fenología	20
3.4 Elementos de diseño de un invernadero	20
3.4.1 Ventilación	21
3.4.2 Altura.....	21
3.4.3 Volumen.....	22
3.4.4 Superficie expuesta.....	22
3.4.5 Orientación.....	23
3.4.6 Materiales para su construcción	23
3.4.6.1 Estructura	23



3.4.6.2 Cubierta	24
3.5 Tipos de invernaderos	24
3.5.1 Invernadero tipo capilla o multicapilla	25
3.5.2 Invernaderos Góticos	25
3.5.3 Invernadero túnel o semicilíndrico.....	25
3.5.4 Invernadero tipo parral.....	25
3.5.5 Invernadero en raspa y amagado	25
3.5.6 Invernadero asimétrico.....	26
CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS	27
4.1 Área de estudio	27
4.2 Medición de variables microclimáticas	28
4.3 Medición de variables fisiológicas	29
4.4 Correlaciones entre variables microclimáticas y variables fisiológicas.....	29
CAPÍTULO V: RESULTADOS	32
5.1 Establecimiento de relaciones entre variables microclimáticas y variables fisiológicas.....	32
5.1.1 Altura de planta – Temperatura	32
5.1.2 Diámetro de fruto – Temperatura.....	34
5.1.3 Diámetro de tallo- Temperatura	35
5.1.4 Número de frutos - Temperatura.....	36
5.2. Establecimiento de relaciones entre elementos de diseño de invernaderos y temperatura	38
5.2.1. Altitud – Temperatura.....	38
5.2.2 Altura a la cenital – Temperatura	39
5.2.3 Área - Temperatura.....	40
5.2.4 Porcentaje de área de ventanas – Temperatura	41
5.2.5 Ubicación de los invernaderos expresada en Azimut – Temperatura	42
5.2.6 Volumen – Temperatura	44
5.2.7 Volumen unitario – Temperatura	45
5.3 Descripción de las características del diseño de los invernaderos.....	47
5.3.1 Esquematización y descripción de los invernaderos.....	47
5.4 Determinación del nivel de estabilidad del microclima dentro de los invernaderos	52



5.4.1. Establecimiento de la fracción de tiempo que la planta se encuentra bajo temperaturas óptimas y no óptimas	52
5.4.2. Comportamiento de la temperatura en los invernaderos	53
5.4.3. Humedad Relativa (HR%) en los invernaderos.....	54
5.5.4. Déficit de Presión de Vapor (DPV) en los invernaderos.....	55
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN	57
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
REFERENCIAS	63
ANEXOS.....	70
Anexo 1. Tipos de Invernaderos	70
Anexo 2. Ficha técnica del Sensor Elitech RC – 51®	71
Anexo 3. Ficha técnica de cada invernadero	72
Anexo 4. Registro fotográfico del trabajo en campo.....	75

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Temperaturas críticas para el cultivo de tomate	19
Tabla 2. Relaciones establecidas entre variables microclimáticas y fisiológicas.....	30
Tabla 3. Escalas utilizadas para la esquematización de los invernaderos.	30
Tabla 4. Valores registrados de las variables fisiológicas.	32
Tabla 5. Valores obtenidos de la medición a los invernaderos.....	38
Tabla 6. Porcentaje de tiempo que las plantas se encuentran bajo, sobre y dentro del rango óptimo de temperatura en el exterior e interior del invernadero.....	52
Tabla 7. Valores de Humedad Relativa (%).....	52



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los invernaderos estudiados.....	28
Figura 2. Relación entre altura de la planta temperatura	33
Figura 3. Relación entre el diámetro del fruto y temperatura.....	35
Figura 4. Relación entre el diámetro del tallo y temperatura.....	36
Figura 5. Relación entre el número de frutos y temperatura	37
Figura 6. Relación entre la altitud y temperatura.....	39
Figura 7. Relación entre la altura a la cenital y temperatura	40
Figura 8. Relación entre el área del invernadero y temperatura	41
Figura 9. Relación entre el porcentaje de área de ventanas del invernadero y temperatura	42
Figura 10. Relación entre la ubicación del invernadero y temperatura	43
Figura 11. Ubicación de los invernaderos	44
Figura 12. Relación entre el volumen del invernadero y temperatura.....	45
Figura 13. Relación entre el volumen unitario del invernadero y temperatura	46
Figura 14. Esquema del “Invernadero A”	47
Figura 15. Esquema del “Invernadero B”	48
Figura 16. Esquema del “Invernadero C”	49
Figura 17. Esquema del “Invernadero D”	49
Figura 18. Esquema del “Invernadero E”	50
Figura 19. Esquema del “Invernadero F”	51
Figura 20. Fracción de tiempo que los invernaderos se encuentran sobre, bajo y dentro del rango óptimo de temperatura	53
Figura 21. Evolución horaria de la temperatura	54
Figura 22. Evolución horaria de la humedad relativa	55
Figura 23. Evolución horaria del Déficit de Presión de Vapor.....	56



Cláusula de Propiedad Intelectual

Carla Tatiana Campoverde Astudillo, autora del trabajo de titulación "**Evaluación de las variables microclimáticas de invernaderos y correlación con variables fisiológicas del tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*) en la zona de Paute-Guachapala**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 09 de abril de 2021

Carla Tatiana Campoverde Astudillo

C.I: 0104727409



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Carla Tatiana Campoverde Astudillo en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "**Evaluación de las variables microclimáticas de invernaderos y correlación con variables fisiológicas del tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*) en la zona de Paute-Guachapala**", 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, 09 de abril de 2021

Carla Tatiana Campoverde Astudillo

C.I: 0104727409

**AGRADECIMIENTOS**

Quiero dar gracias a Dios por permitirme alcanzar una meta más y por todas las bendiciones que ha puesto en mi vida. Mi eterno agradecimiento a mi madre y hermana, las dos mujeres que me han dado la fuerza y determinación para continuar, gracias por ser mis compañeras de vida.

Mi más profundo agradecimiento a mi Director de tesis, Ing. Eduardo Chica, quien ha sido mi fuente de inspiración y sin duda alguna la mejor guía en este emocionante camino, gracias por toda su dedicación, humanidad y sobre todo por la maravillosa persona y profesional que es, gracias por su confianza, por creer en mí y motivarme a ser mi mejor versión.

A la Universidad de Cuenca por haberme formado y preparado como profesional y a todos mis profesores quienes me enseñaron mucho, no solo en el ámbito académico sino de la vida misma, en especial a: Ing. Pedro Zea, Ing. Pablo Quichimbo, Ing. Iván Belesaca, Ing. Segundo Maita, e Ing. Luis Minchala, quienes, con su admirable paciencia y dedicación, aportaron a la potencialización de este trabajo.

A: Sr. Santiago Carangui, Ing. Servio Ordoñez, Sr. Paúl Zhirzhan, Sra. Magdalena Rojas y Sr. Geovanny Orellana, quienes con su absoluta amabilidad me permitieron realizar este trabajo en sus propiedades, también a la Universidad de Cuenca

Gracias por todo su tiempo, apoyo y cariño: Jéssica Aguilar, Camila Campos, Wendy Urgilés, Cristina Espinoza, Juan Lara, Cristina Zúñiga, Geovanny Banegas, y Henry Cáceres.

Carla Tatiana Campoverde Astudillo



DEDICATORIA

Lo que para mí representa uno de los mayores logros para mi vida, se lo quiero dedicar a las personas más importantes: María Astudillo, Anny Campoverde y Luis Campoverde. No hay palabras que puedan describir lo que significan para mí, así que como muestra del infinito amor que les tengo, les dedico el fruto de mi esfuerzo. Este logro es nuestro y mi corazón es suyo.

Carla Tatiana Campoverde Astudillo



ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

cm: centímetros

m: metros

m^2 : metros cuadrados

m^3 : metros cúbicos

m s.n.m: metros sobre el nivel del mar

km^2 : kilómetros cuadrados

t ha^{-1} : toneladas métricas por hectárea

g: gramos

HR: humedad relativa

DPV: Déficit de presión de vapor

kPa: kilo pascal

PV_{sat} : valor de la presión de vapor de saturación

e: número de Euler

PV_{air} : presión de vapor real del aire

T°: temperatura

T° med.: temperatura media

T° min.: temperatura mínima

T° máx.: temperatura máxima

Delta T: delta de temperatura

°C: grados centígrados

°F: grados Fahrenheit

\bar{x} : promedio



P: valor de probabilidad

R²: porcentaje de variación de la variable de respuesta

N: norte

S: sur

E: este

O: oeste

INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Ecuador

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

EVA: Copolímero etileno vinil acetato

PVC: Polícloruro de vinilo

USB: Bus Universal en Serie



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La producción agrícola bajo invernadero tiene algunas características, entre ellas se encuentran el poder tener el control de indicadores ambientales y la generación de microclimas óptimos para el desarrollo de los cultivos, sin embargo, en Ecuador, es común encontrar producción agrícola bajo cubierta que no cuenta con estas particularidades. Precisamente, el no contar con un control de las variables ambientales típicamente manejadas en los invernaderos, conlleva a una baja producción y rendimiento de los cultivos, al desgaste del suelo en el que se siembra debido a un inadecuado manejo de la fertilización y en algunos casos, al abandono de estas construcciones.

Los criterios para la selección de parámetros mínimos para generar microambientes óptimos para el crecimiento de las plantas en función del clima local, son aspectos poco estudiados en Ecuador, sobre todo en la provincia del Azuay. Adicionalmente, la información sobre variaciones de temperatura, humedad relativa, déficit de presión de vapor, entre otros, dentro de los invernaderos en las diferentes regiones del Ecuador es muy escasa.

En el país se han realizado investigaciones en tomate de mesa bajo invernadero especialmente en provincias como Tungurahua, Pichincha y Cotopaxi, sin embargo, en estas investigaciones se ha estudiado el efecto del plástico de invernadero sobre la producción de tomate (Jaramillo, 2015), diferentes dosis de fertilización (Ausay, 2015), el efecto de la aplicación foliar complementaria y fertirriego (Jarrín, 2014), identificación de daños por enfermedades como *Botrytis* (Pinchao, 2019), o métodos de muestreo y dinámica poblacional de mosca blanca dentro de invernaderos de tomate (Toro, 2017). No obstante, poco se ha estudiado en cuanto a la correlación que existe entre las variables microclimáticas con los elementos de diseño de un invernadero y las variables fisiológicas del tomate de mesa; por lo que no existe información microclimática sobre invernaderos en Paute y Guachapala en la provincia del Azuay, que permita tomar decisiones respecto al manejo del microclima dentro de un invernadero de *Solanum lycopersicum* debido a que estos no han sido caracterizados en función de sus variables microclimáticas.

Según Cardona (2018), el no contar con esta información podría afectar al desarrollo y rendimiento de los cultivos, lo que se ve reflejado en nuestro bajo rendimiento nacional de tomate de mesa de 18 t ha^{-1} , comparado con el rendimiento de 40 t ha^{-1} en Colombia, país en dónde se produce bajo condiciones similares a las nuestras.



Los diseños de los invernaderos se orientan a representar estructuras que minimicen costos de producción y logren ambientes óptimos para las plantas; entre las funciones de estas infraestructuras están: mantenimiento de calor en época de invierno, ventilación y salida de calor eficiente en época de verano y permitir mayor entrada de luz (Critten y Bailey, 2002). Todos estos ajustes se traducen en un incremento del valor de los productos que permite que el agricultor pueda invertir tecnológicamente en su explotación mejorando la estructura del invernadero, los sistemas de riego localizado, el manejo del clima, etc., reflejándose posteriormente en una mejora de los rendimientos y calidad del producto final.

La permanente necesidad de incrementar la productividad, ha obligado a los productores a introducir un enfoque más tecnológico en la producción bajo cubierta. Por ello, la necesidad de entender el comportamiento del microclima dentro de los invernaderos es de gran importancia para poder aprovechar los recursos que se emplean en la fabricación de estas infraestructuras.

Este estudio descriptivo constituye la base de información de las condiciones microclimáticas actuales en las que se produce tomate de mesa bajo invernadero en la zona de Paute y Guachapala, además de servir como fundamento para que se puedan estudiar las variables que se encuentren mayormente correlacionadas pudiendo establecer patrones de producción, determinar las variables que deban ser tomadas en cuenta al momento de diseñar un invernadero para las condiciones climáticas de la zona pudiendo llegar a optimizar y automatizar los procesos productivos dentro de estas estructuras.



CAPÍTULO II: OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar las variables microclimáticas de invernaderos y correlación con variables fisiológicas del tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*) en la zona de Paute y Guachapala en la Provincia del Azuay.

2.2 Objetivos específicos

1. Establecer relaciones entre variables microclimáticas y variables fisiológicas en plantas de tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*) en estado reproductivo en invernaderos comerciales.
2. Describir las características del diseño de invernaderos comerciales de tomate de mesa en la zona de Paute y Guachapala.
3. Determinar el nivel de estabilidad del microclima dentro de los invernaderos (fluctuaciones) para dos condiciones: altas y bajas temperaturas.



CAPÍTULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Tomate de mesa (*Solanum lycopersicum* L.)

Una de las hortalizas más consumidas a nivel mundial, es el tomate riñón o tomate de mesa (*Solanum lycopersicum* L.). Esta hortaliza pertenece a la familia de las Solanáceas y es originaria de países andinos como: Chile, Ecuador y Perú. Su importancia no solo radica en el ámbito económico sino también a nivel nutricional por la gran cantidad de vitaminas que posee (CENTA, 2018).

En los últimos años, en provincias de la región Sierra tales como: Azuay, Carchi, Cotopaxi, Chimborazo, Imbabura, Loja, Pichincha y Tungurahua ha existido un incremento considerable en la producción del cultivo de *Solanum lycopersicum* bajo invernadero, por otro lado, en la mayoría de provincias de la región costera como: Esmeraldas, Guayas, Los Ríos, Manabí y Santa Elena, se lo cultiva a campo abierto. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en los cantones: Cuenca, Gualaceo, Oña, Paute y Santa Isabel de la provincia del Azuay, prevalece el monocultivo de papa, maíz suave seco y *Solanum lycopersicum*, representando tan solo el 10% a campo abierto y el 90% bajo invernadero (Guiñanzaca y Merchán, 2015).

3.2 Requerimientos climáticos

3.2.1 Altitud

En regiones que están a nivel del mar hasta los 1800 m.s.n.m., *Solanum lycopersicum* puede ser cultivado a campo abierto, mientras que en regiones más elevadas es posible cultivarlo hasta los 3200 m.s.n.m. con la implementación de un invernadero (Silva, 2015).

3.2.2 Temperatura

Tal como se muestra en la Tabla 1, se han establecido intervalos óptimos de temperatura tanto diurnas y nocturnas para un adecuado cultivo de *Solanum lycopersicum*, siendo así que se consideran temperaturas diurnas óptimas las que se encuentran entre 20-30 °C y temperaturas nocturnas óptimas entre 10-17 °C, más específicamente, este cultivo se desarrolla de mejor manera con temperaturas entre 18-24 °C. Cuando la temperatura sobrepasa los 30-35 °C y cuando es menor a 12-15 °C, se presentan problemas en la



fructificación y fecundación de los óvulos debido a que ocurre aborto floral también se reduce el crecimiento y la biomasa de la planta

El “Síndrome de hoja corta” ocurre cuando existen temperaturas por debajo de 0 °C (Guevara y Estrella, 2008), finalmente, el desarrollo de la planta y cuajamiento de frutos se ve afectado con temperaturas nocturnas inferiores a 10-13 °C (INIA, 2017).

Tabla 1

Temperaturas críticas para el cultivo de tomate

Descripción	Rango
Helada	-2 °C
Se detiene el desarrollo de la planta	10–12 °C
Desarrollo normal de la planta	18–25 °C
Mayor desarrollo de la planta	21–24 °C
Germinación óptima	25–30 °C
Maduración	15–22 °C
Temperaturas óptimas diurnas	
Desarrollo	23–26 °C
Floración	23–26 °C
Temperaturas óptimas nocturnas	
Desarrollo	13–16 °C
Floración	15–18 °C

Fuente: INIA (2017)

3.2.3 Humedad relativa

La polinización de las flores se ve favorecida cuando el rango de humedad se encuentra entre el 60-80% rango óptimo para *Solanum lycopersicum*. Por el contrario, la fecundación se ve perjudicada con una humedad relativa superior al 80% debido al hincharimiento de las anteras lo que impide la liberación del polen y reduce su viabilidad, causa la caída de la flor y agrietamiento del fruto además de facilitar el desarrollo de enfermedades fungosas como: *Phytophtora infestans*, *Alternaria solani* y *Botrytis cinerea*, también limita la evapotranspiración, disminuye la absorción de agua y nutrientes, generando desórdenes fisiológicos ocasionados por un déficit de elementos como el calcio. De la misma manera, la fijación del polen al estigma de la flor al momento de la polinización se ve afectada cuando la humedad relativa es menor a 60% (INTA, 2017).

3.2.4 Déficit de Presión de Vapor (DPV)

Una manera útil de medir el clima dentro de un invernadero debido a que integra los valores de humedad relativa en el aire y temperatura para un adecuado crecimiento de la planta, es el DPV, que es utilizado de igual manera para determinar si hay riesgo de condensación,



prevenir enfermedades sobre todo fúngicas basándose en los niveles de humedad, establecer necesidades de riego, vigilar la conductancia estomática permitiendo de esta forma controlar la fotosíntesis, caracterizar y controlar microclimas, además de controlar posibles desórdenes fisiológicos (Beluzán, 2013; Escamirosa et al., 2017).

El rango óptimo de DPV debe mantenerse entre 0,45-1,25 kPa, con un nivel óptimo de 0,85 kPa, para la mayoría de cultivos (CANNA, s. f.). Sin embargo, para el cultivo de tomate valores inferiores a 0,5 kPa impiden el desprendimiento del polen mientras que valores superiores a 1 kPa, impiden la adherencia del polen al estigma de la flor (Beluzán, 2013).

3.3 Fenología

La fase vegetativa de *Solanum lycopersicum* se desarrolla en semillero para el establecimiento de la planta y la formación de las partes aéreas. Después de 40 a 45 días desde la siembra, se da el crecimiento vegetativo, posteriormente el tallo se engrosa entre 2-4 cm de ancho durante cuatro semanas de crecimiento rápido, la formación del botón floral marca el inicio de la fase reproductiva entre 30 a 40 días durando cerca de 60 días para el primer racimo. En total la fase reproductiva tiene una duración de 180 días aproximadamente. Los frutos son tipo baya, globosa o alargada, que pueden alcanzar un peso de 600 g. Esta baya es de color verde cuando es inmaduro, una vez que ha madurado su color varía entre: rojo, amarillo, naranja, entre otros (INTA, 2017).

3.4 Elementos de diseño de un invernadero

El invernadero agrícola es considerado una infraestructura que se puede construir con diferentes materiales tales como madera o tubos de hierro galvanizado para la estructura o esqueleto y polietileno o virio para la cubierta que permita el acceso de luz. Una de las ventajas de los invernaderos es que permite controlar el microclima óptimo necesario para el desarrollo de diferentes cultivos (Francescangeli y Mitidieri, 2006). Debido a que el polietileno es de fácil instalación y menor costo, para la mayoría de invernaderos se utiliza una cubierta plástica. Existe una interrelación entre el diseño del invernadero y las variables fisiológicas de las plantas, esto influye sobre la productividad del tomate bajo invernadero (Jaramillo, 2015).

A la hora de diseñar un invernadero es importante considerar diferentes factores como: los requerimientos climáticos del cultivo, los datos climáticos de la región (temperatura, humedad relativa, frecuencia e intensidad de vientos, etc.), también se debe tomar en cuenta los



materiales de la cubierta debido a que esto va a influir en el clima interno que se genere dentro del invernadero (Marín, 2013).

Debido a la impermeabilidad que presentan los plásticos, la temperatura y humedad relativa dentro del invernadero se incrementan por lo que es necesario mantener un adecuado manejo de las condiciones ambientales mediante el sistema de ventilación, esto logra regular la temperatura dentro de la estructura; es imprescindible poder regular los controles de temperatura, humedad relativa, corrientes de aire y composición atmosférica (Jaramillo et al., 2007).

Dentro de los aspectos que hay que considerar para diseñar un invernadero, se detallan las siguientes:

3.4.1 Ventilación

Dentro de los invernaderos, el clima se puede controlar mediante la ventilación debido a que por medio de esta se puede manejar el intercambio de aire entre el interior y exterior del invernáculo y también disminuir la temperatura y humedad. En general, para evitar el ingreso de plagas como mosca blanca, trips, áfidos, entre otras, las ventanas de los invernaderos son cubiertas con mallas como el sarán (Arellano et al., 2011).

Es importante que los invernaderos cuenten con un sistema de ventilación el mismo que puede estar conformado por ventanas cenitales, frontales y laterales, además de contar con un mecanismo de abertura y cierre y sistemas de exclusión de insectos. Según la FAO (2005), la relación entre superficie del suelo y superficie de ventanas debe ser aproximadamente entre 15-25%. Si la ventilación es únicamente a través de los laterales y frontales debe limitarse la anchura máxima del invernadero.

Una adecuada circulación de aire es indispensable para lograr una ventilación eficaz dentro de los invernaderos, para esto es necesario contar con una combinación de ventanas tanto laterales como cenitales (situadas en la parte superior), estas ventanas pueden ser reguladas según las necesidades de ventilación de los cultivos mediante mecanismos de apertura y cierre como cortinas, mismas que pueden ser del mismo plástico de cubierta (FAO, 2005).

3.4.2 Altura

La altura del invernadero y el volumen están estrechamente relacionados, es por esto que se plantea que la altura que permite conseguir 3 metros cúbicos por cada metro cuadrado de



superficie es la más adecuada, debido a que de esta manera es posible conservar por más tiempo el calor dentro de la estructura además de ser conveniente para el desarrollo de cultivos con altura como *Solanum lycopersicum* (Marín, 2013).

También es importante tomar en cuenta que para estas estructuras se tienen dos alturas: la altura a la canal, que es aquella que va desde el suelo hasta las canaletas y la altura a la cumbre que va desde el suelo hasta el punto más alto, es decir, hasta el centro de la curvatura en el caso de invernaderos con techos curvos o hasta la punta del techo en el caso de invernaderos con techos planos (Francescangeli y Mitidieri, 2006).

3.4.3 Volumen

El volumen del invernadero es un factor importante a considerar debido a que este influirá en la inercia térmica del sistema, para evitar cambios bruscos de temperatura se recomienda que el invernadero cuente con las siguientes dimensiones: un metro de ancho por un metro de largo y por tres metros de altura, de manera que se cubra un metro cúbico de suelo, consiguiendo una relación entre el aire y volumen interior de 3 a 1 ya que para un buen manejo del ambiente es necesario un volumen de aire de tres metros cúbicos por cada metro cuadrado de suelo (Miserendino y Astorquizaga, 2014).

Este volumen unitario, se obtiene al dividir el volumen interior (m^3) entre la superficie cubierta de suelo (m^2), este cociente determina el microclima dentro del invernadero; mientras este valor sea mayor, mejor inercia térmica presentará la estructura, es decir, que no existirán cambios bruscos de temperatura (calentarse o enfriarse abruptamente durante el día o la noche), por lo que se recomienda que este coeficiente de inercia térmica sea igual o superior a 3, una manera de incrementar dicho valor es aumentando la altura del invernadero. Invernaderos con techo curvo siempre almacenan más volumen que invernaderos con techos planos si ambos tienen la misma altura a la cumbre (Francescangeli y Mitidieri, 2006).

3.4.4 Superficie expuesta

La superficie expuesta, es decir, los metros de pared del invernadero que se encuentran en contacto con el clima exterior también juegan un rol importante en el microclima dentro de la estructura, ya que el interior de esta tiende a enfriarse más cuanto mayor superficie expuesta se tiene, por lo que cobra relevancia la relación ancho y largo del invernadero (Francescangeli y Mitidieri, 2006).



Según Medina y Lardizabal (2011), a la hora de definir las dimensiones del invernadero, un factor condicionante es la disponibilidad en el mercado de los metros de plástico para la paredes y malla para las ventanas, así como también el tamaño de la madera, además del tipo de cultivo a sembrar.

3.4.5 Orientación

La orientación del invernadero es uno de los factores clave que permite que durante el día se pueda captar la mayor cantidad de energía solar, debido a esto se recomienda que la orientación sea de Este a Oeste y para evitar la proyección de sombra entre las plantas, se recomienda que la orientación de las líneas de cultivo sea Norte-Sur, de manera que todas obtengan igual cantidad de radiación solar (Marín, 2013).

Otros factores que se deben considerar para establecer la orientación del invernadero son: su eje longitudinal, la dirección de los vientos, la disposición del terreno (Francescangeli y Mitidieri, 2006).

3.4.6 Materiales para su construcción

Un invernadero, está claramente constituido por dos secciones: la estructura y la cubierta, para su construcción se pueden emplear una combinación de diferentes materiales.

3.4.6.1 Estructura

Dentro de la estructura de un invernadero están considerados los siguientes componentes: los cimientos, las puertas, ventanas, zócalos, canaletas y las sujetaciones de la cobertura. Por lo general para la estructura se utiliza madera o metal (Francescangeli y Mitidieri, 2006). En el caso de utilizar madera, esta debe tener un espesor de entre 3 a 5 pulgadas otorgando así resistencia a vientos y lluvias, también esta deberá ser empleada posterior a un proceso de secado evitando de esta manera que las resinas ocasionen daños al polietileno. Para una estructura metálica se puede emplear el uso de aluminio, hierro o acero galvanizado (Ramos, 2011).

Parte de una buena estabilidad de la estructura se encuentra en los soportes o bases de cimentación en los que se puede utilizar hormigón. En cuanto a las puertas, estas pueden ser corredizas o de apertura hacia afuera para optimizar el espacio, se recomienda que sean lo suficientemente amplias para mayor facilidad de entrada y salida de operarios y maquinaria (Francescangeli y Mitidieri, 2006).



Las ventanas por su parte, son las encargadas directas de la ventilación del invernadero, por lo que es importante determinar muy bien el sistema de cierre y apertura de las mismas, en este sentido, su apertura siempre debe ser hacia arriba. Generalmente para las ventanas se utiliza mallas porosas que pueden ser de sarán, o malla antiáfidos (Francescangeli y Mitidieri, 2006).

En correas y vigas se usa acero galvanizado, hierro y aluminio al igual que en pilares, apoyos y refuerzos. Para la sujeción de la cubierta, el emparrillado y canales es recomendable usar aluminio, alambre o acero galvanizado (NOVAGRIC, 2016).

3.4.6.2 Cubierta

Para la cubierta es importante el uso de materiales transparentes que permitan el paso de luz y sean resistentes ya que estos son los que otorgan protección al cultivo. Se pueden emplear diferentes films plásticos como polietileno, copolímero de etileno y acetato de vinilo, cloruro de polivinilo y plásticos multicapa para la cubierta y en el caso de tener una cubierta de vidrio, se puede emplear cristal de vidrio impreso (NOVAGRIC, 2016).

Debido a su bajo costo, el plástico es el material más utilizado para la cubierta de los invernaderos; existen diferentes tipos de polietileno, siendo el más utilizado el plástico térmico de 3 años, compuesto por tres capas: una capa exterior, resistente, anti radiación UV y antiadherente compuesta por una lámina de polietileno de baja densidad; una capa intermedia, térmica, con alto contenido de copolímero de etileno y acetato de vinilo y una capa interior con coestabilizantes resistentes a pesticidas que aporta difusión de luz.

Otro material plástico utilizado en cubiertas dobles es el Copolímero etileno vinil acetato (EVA) debido a que presenta una mejor resistencia mecánica frente al Policloruro de vinilo (PVC) ya que este es un plástico rígido, sensible al frío y polvo al que se le añaden plastificantes para flexibilizarlo. Por último, el Policarbonato es un plástico muy utilizado para la cobertura de cerramientos laterales o el área frontal que determina el arco del invernadero (NOVAGRIC, 2016).

3.5 Tipos de invernaderos

Un invernadero se puede clasificar de diferentes maneras: según su estructura, de acuerdo a su fijación o movilidad, conforme al material de cubierta o material de estructura, entre otras. A continuación, se describen algunos tipos de invernaderos de acuerdo a su estructura. Anexo 1.



3.5.1 Invernadero tipo capilla o multicapilla

Las estructuras de los invernaderos tipo capilla o multicapilla pueden ser de dos diseños por la forma de su cubierta: el primero, formado por arcos y el segundo cuyo techo está formado por uno o dos planos inclinados. La anchura de este tipo de invernaderos suele ser de 12 a 16 m. La altura bajo la canal está comprendida entre 4 a 5,50 m y la altura a la cumbre entre 5,80 a 6,80 m. Si los invernaderos presentan dos naves contiguas nos referimos a invernaderos doble capilla y si existe la presencia de más de dos naves adyacentes se trata de invernaderos multicapilla (NOVAGRIC, 2016).

3.5.2 Invernaderos Góticos

Estas estructuras con arcos de diseño medieval, poseen cumbres en punta, permitiendo así que las naves sean más amplias y por lo tanto se tenga mayor volumen dentro del invernadero, lo cual es apto para una gran variedad de cultivos y climas. Generalmente su ancho suele ser de 8 a 9,60 m con una altura bajo la canal de entre 4 a 5 m y la altura a la cenital entre 6 y 7,40 m (NOVAGRIC, 2016).

3.5.3 Invernadero túnel o semicilíndrico

Esta estructura se define por la forma de sus paredes completamente curvas de extremo a extremo. Este tipo de invernadero presenta como estándares las siguientes dimensiones: ancho de 8 a 9,60 m y altura a la cenital entre 3,5 a 5 m. Este modelo es excelente para el cultivo de hortalizas debido a su gran resistencia a vientos fuertes y lluvia (NOVAGRIC, 2016).

3.5.4 Invernadero tipo parral

El diseño de este tipo de invernadero es similar al de una casa de techo inclinado, se caracteriza por estar conformado por una parte vertical y otra parte horizontal. Su uso se recomienda para zonas poco lluviosas. Generalmente el ancho total de este tipo de estructura es de 50 m con una altura a la cumbre de hasta 4,2 m en los postes centrales y una altura en los laterales de 2,3 a 2,5 m (IEP, 2017).

3.5.5 Invernadero en raspa y amagado

Este tipo de invernadero se puede emplear en climas templados, permite un mejor control del clima como control de vientos, debido a que la parte alta denominada “raspa” alcanza una



altura entre 3-4,2 m. El “amagado” que tiene una altura de 2 a 2,8 m, hace referencia a la parte baja, y una de las ventajas que presenta es que por medio de canales aprovecha el agua lluvia. Generalmente el ancho de este tipo de invernadero puede variar entre 8-9,60-10 m; con una altura a la cenital de 7 m (NOVAGRIC, 2016).

3.5.6 Invernadero asimétrico

La orientación para este tipo de invernadero es en sentido Este-Oeste de manera que permita aprovechar mejor la luz solar, por lo que su uso está recomendado para cultivos de climas cálidos. Se caracterizan por la geometría asimétrica de su techo. Generalmente la anchura de este tipo de estructura es de 9,60 m con una altura del pilar de 6,4 a 7,40 m; distancia entre pilares de 4 a 5 m y altura a la canal de 4 a 5 m (NOVAGRIC, 2016).



CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Área de estudio

La investigación se realizó en los cantones Paute y Guachapala ubicados al noreste de la Provincia del Azuay. El cantón Paute se encuentra a una altitud entre los 2100 y 3400 m.s.n.m (Vásquez, 2015) tiene una superficie de 261,43 km² y presenta temperaturas que van de 15-25 °C, con vientos provenientes del Norte. La agricultura y la ganadería son las principales ocupaciones de sus habitantes (Bermeo, 2013). El cantón Guachapala se encuentra a una altitud entre los 2200 y 3200 m.s.n.m.; ocupa una extensión de 39,67 km², con una temperatura promedio en zonas altas de 4 °C y de 14-16 °C en zonas bajas. Recibe la influencia de los vientos provenientes del Oeste. La economía de este cantón se basa en la agricultura cultivándose maíz, fréjol, arveja, tomate de árbol y *Solanum lycopersicum* (GAD Guachapala, 2014).

En la Figura 1 se observa la ubicación de los seis invernaderos estudiados (A-F). El “Invernadero A” se encuentra ubicado en el Kilómetro 10 vía Paute - Guachapala; el “Invernadero B” se localiza en el Centro de Guachapala, Vía Monjas - Sixto Durán Ballén; el “Invernadero C” se sitúa en Sacaré Bajo - Guachapala; el “Invernadero D” se encuentra ubicado en la Vía Paute - Guachapala; el “Invernadero E” se localiza en Shaushin - Guachapala y el “Invernadero F” está ubicado en Zhuyurloma – Paute.

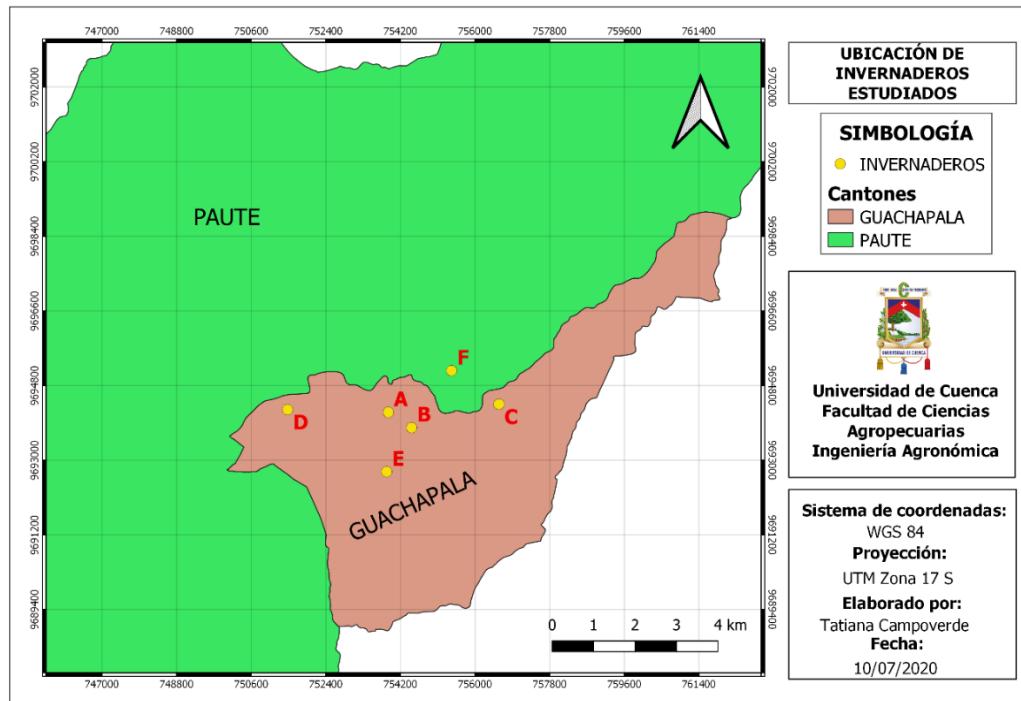


Figura 1. Ubicación de los invernaderos estudiados. Mapa realizado en ArcGis.

Metodología para el Objetivo específico 1: “Establecer relaciones entre variables microclimáticas y variables fisiológicas en plantas de tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*) en estado reproductivo en invernaderos comerciales”

4.2 Medición de variables microclimáticas

Las variables microclimáticas: temperatura (°C) y humedad relativa (%), fueron registradas con el sensor Elitech RC-51® cuya capacidad de memoria máxima es de 32000 puntos, posee un rango de medición de temperatura de -30 °C a 70 °C y una precisión de $\pm 0,5$ °C / 0,9 °F, con una resolución de 0,1 °C, según como se especifica en la ficha técnica del sensor en el Anexo 2. El registrador de datos es a prueba de agua y utiliza una interfaz USB 2.0 para transferir datos a la computadora y generar automáticamente informes de datos (Elitech, 2016).

Se instalaron dos sensores, uno al interior y otro al exterior del invernadero, que fueron configurados para que registren datos de temperatura y humedad relativa cada hora durante ocho días, iniciando en el Invernadero A el día 15 de enero de 2020 y terminando en el Invernadero F el día 11 de marzo de 2020. Cada sensor fue colocado dentro de una carcasa



anti radiación solar como mecanismo de protección ante condiciones ambientales fuertes como viento, lluvia, radiación solar directa, entre otras, además de proporcionar resguardo ante animales (aves, insectos) y químicos que pudieran haber sido utilizados dentro de los invernaderos. Estas carcasa se ensamblaron a una estación de madera, dicha estación se colocó a una altura de 1,65 metros desde el suelo tal como se muestra en el Anexo 4. En el interior del invernadero, el sensor se colocó aproximadamente en la mitad del invernadero, mientras que, en el exterior, el sensor se colocó a dos metros desde la lateral del invernadero.

Con los datos registrados por los dataloggers se calculó el déficit de presión de vapor en kPa mediante la ecuación de Penman-Monteith descrita por FAO (2006).

$$\text{DPV} = [\text{PV}_{\text{sat}} - \text{PV}_{\text{air}}]$$

En donde:

$$\text{PV}_{\text{sat}} = 0,61078 * e^{[(17,27 * T^{\circ}) / (237,3 + T^{\circ})]}$$

PV_{sat} = valor de la presión de vapor de saturación.

e = número de Euler cuyo valor es 2,71828.

T° = temperatura en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$).

$$\text{PV}_{\text{air}} = [\text{HR} / 100] * \text{PV}_{\text{sat}}$$

PV_{air} = presión de vapor real del aire.

HR = humedad relativa.

PV_{sat} = valor de la presión de vapor de saturación.

4.3 Medición de variables fisiológicas

Para la medición de las variables fisiológicas, dentro de cada invernadero, al azar se eligieron diez plantas en estado reproductivo, en cada una de estas se contabilizó el número de frutos; con un flexómetro se midió la altura de la planta en metros (m) y con un calibrador se midió el diámetro del tallo en centímetros (cm) y el diámetro también en centímetros (cm) de todos los frutos del racimo.

4.4 Correlaciones entre variables microclimáticas y variables fisiológicas

La Tabla 2, muestra las relaciones que se establecieron entre las variables microclimáticas (temperatura, altitud) y variables fisiológicas (altura de la planta, diámetro del fruto, diámetro del tallo, número de frutos), mismas que se analizaron mediante regresión lineal en el software R.

**Tabla 2**

Relaciones establecidas entre variables microclimáticas y fisiológicas

Variables Microclimáticas	Variables Fisiológicas	Variables de diseño de invernaderos
T° mínima	Altura de planta	Área
T° máxima	Diámetro de fruto	Volumen
T° media	Diámetro de tallo	Volumen / área
Delta T°	Frutos en 10 plantas	Altura cenital
Altitud		Área ventanas
		Azimut

Metodología para el Objetivo específico 2: “Describir las características del diseño de invernaderos comerciales de tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*) en la zona de Paute-Guachapala”.

La estructura de cada invernadero (largo, ancho y ventanas) fue medida con un flexómetro; la altura a la canal, altura a la cenital y abertura de la cenital fueron medidas con un metro plegable de madera. Con estos datos, para cada invernadero se calculó la superficie (m²), volumen (m³) y porcentaje de área de ventanas (%). La orientación de cada invernadero se determinó con una brújula digital y la altitud fue obtenida mediante la aplicación MAPS.ME. La esquematización de las estructuras se realizó en AutoCAD® a diferentes escalas para una mejor visualización como se especifica en la Tabla 3.

Tabla 3

Escalas utilizadas para la esquematización de los invernaderos en AutoCAD®.

Invernadero	Escala
A	1:500
B	1:350
C	1:350
D	1:450
E	1:300
F	1:250



Metodología para el Objetivo específico 3: “Determinar el nivel de estabilidad del microclima dentro de los invernaderos (fluctuaciones) para dos condiciones: altas y bajas temperaturas”

Para determinar el nivel de estabilidad del microclima dentro de los invernaderos, se establecieron rangos de temperatura para dos condiciones: temperaturas altas (aquellas por encima del óptimo diurno: 26 °C) y temperaturas bajas (aquellas por debajo del óptimo nocturno: 15 °C), valores de temperaturas óptimas que han sido tomados como referencia y que están detallados en la Tabla 1.

En Microsoft Excel, se tomaron todos los datos de temperatura registrados por los sensores para cuantificar el número de horas que las plantas se encuentran bajo temperaturas altas y temperaturas bajas cada día, con esto, en el Software R se analizó la proporción de tiempo (número de horas en cada categoría dividido para el número de horas totales registradas) que los invernaderos registraron temperaturas por encima, por debajo y dentro del rango óptimo durante los ocho días de muestreo; también se analizó el comportamiento de la humedad relativa y el déficit de presión en los invernaderos.



CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1 Establecimiento de relaciones entre variables microclimáticas y variables fisiológicas

Los datos de la Tabla 4, muestran los valores de las variables fisiológicas y de temperatura que se han tomado para realizar las ecuaciones de regresión y establecer las relaciones entre dichas variables. Según estos valores, se observa que la mayor temperatura máxima se obtuvo en el Invernadero C con 34,3 °C, es decir, 8,3 °C por encima del óptimo, mientras que la menor temperatura mínima se presentó en el invernadero B con 9,5 °C, es decir, 5,5 °C por debajo del óptimo. No obstante, estos valores no difieren en gran medida de las otras temperaturas máximas y mínimas registradas en los demás invernaderos.

Tabla 4

Valores registrados en los seis invernaderos muestreados (A-F) para las variables fisiológicas.

INVERNADERO	Nº de frutos en diez plantas	̄ altura de planta (m)	̄ diámetro de frutos (cm)	̄ diámetro del tallo (cm)	T° med. (°C)	T° min. (°C)	T° máx. (°C)
A	85	1,63	2,91	0,80	19,4	12,8	33,8
B	212	2,28	4,27	0,75	17,7	9,5	32,7
C	172	2,16	3,94	0,79	18,9	10,8	34,3
D	184	2,39	4,80	0,82	19,1	12,3	32,2
E	265	2,46	4,05	0,85	17,1	12,0	29,6
F	283	2,60	4,81	1,28	18,2	11,7	29,9

Nota: Los valores de las variables fisiológicas provienen de la toma de datos en 10 plantas al azar dentro de cada invernadero. Nº: Número; ̄: promedio, m: metros, cm: centímetros, T° med.: temperatura media, T° min.: temperatura mínima, T° máx.: temperatura máxima, °C: grados centígrados

5.1.1 Altura de planta – Temperatura

Según la Figura 2., de acuerdo al modelo matemático empleado, se puede observar una tendencia general que señala que mientras la temperatura aumenta, la altura de la planta disminuye. De esta manera, la ecuación de regresión indica que por cada grado de incremento en Delta T (a), la altura de la planta se reduce en 0,073 m; para el caso de la temperatura mínima (b), la altura de la planta disminuye en 0,071 m, con la temperatura máxima (c), la

planta reduce su altura en 0,14 m y en el caso de la temperatura media (d), la altura de la planta disminuye en 0,25 m. Para todos los casos, la mayor altura de plantas se presentó en el Invernadero F, aunque esta no difiere por mucho a la altura de plantas de los Invernaderos D y E; por el contrario, la menor altura de plantas se muestra en el Invernadero A, con una marcada diferencia en relación a la altura de plantas de los demás invernaderos. Sin embargo, según el valor p obtenido, para ninguna de estas variables la relación fue significativa por lo que no podemos concluir que exista un efecto de las temperaturas sobre la altura de las plantas.

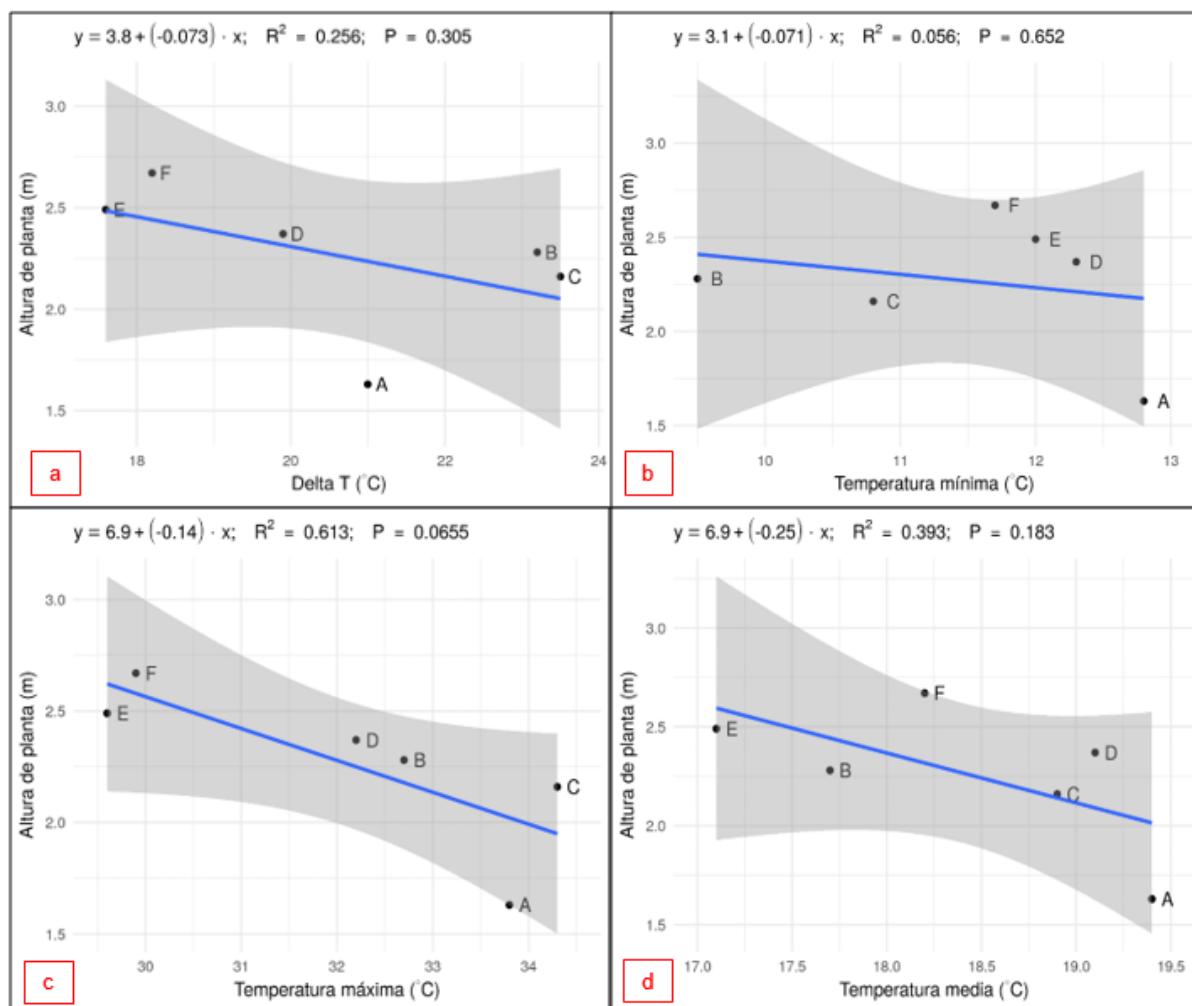


Figura 2. Relación entre altura de la planta y delta de temperatura (a), temperatura mínima (b), temperatura máxima (c), temperatura media (d). Se incluye la ecuación de regresión, coeficiente de determinación y el valor p para cada regresión.



5.1.2 Diámetro de fruto – Temperatura

De acuerdo a la Figura 3, según el modelo matemático empleado, se observa una tendencia general que señala que mientras la temperatura aumenta, el diámetro del fruto disminuye. De esta manera, la ecuación de regresión indica que por cada grado de incremento en Delta T (a), el diámetro del fruto se reduce en 0,071 cm; para el caso de la temperatura máxima (b), se reduce en 0,18 cm; con la temperatura media (c), el fruto reduce su diámetro en 0,27 cm y en el caso de la temperatura mínima (d), el diámetro disminuye en 0,19 cm. Para todos los casos el Invernadero A, presentó el menor diámetro de frutos, diferenciándose por tan solo un centímetro del diámetro de frutos del Invernadero C; por otro lado, el Invernadero F, mostró el mayor diámetro de frutos diferenciándose igualmente por tan solo un centímetro del diámetro de frutos del Invernadero D. Sin embargo, según el valor p obtenido, al no ser significativo, para ninguna de estas variables se refleja una correlación por lo que no podemos concluir que exista un efecto de las temperaturas sobre el diámetro del fruto.

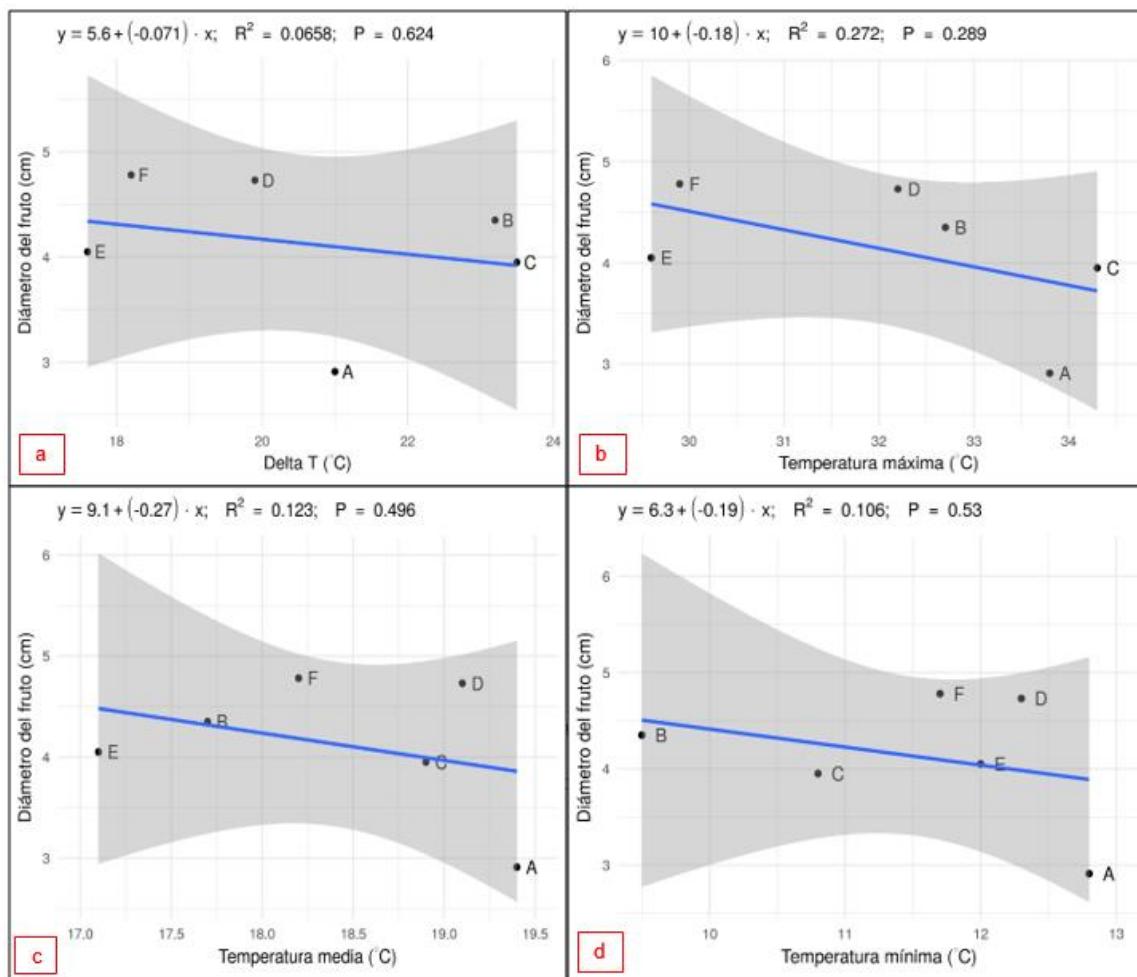


Figura 3. Relación entre el diámetro del fruto y delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c), temperatura mínima (d), Se incluye la ecuación de regresión, coeficiente de determinación y el valor p para cada regresión.

5.1.3 Diámetro de tallo- Temperatura

En la Figura 4, la ecuación de regresión indica que por cada grado de incremento en Delta T (a), el diámetro del tallo se reduce en 0,046 cm, para el caso de la temperatura máxima (b), se reduce en 0,055 cm, y con la temperatura media (c), disminuye en 0,0043 cm. No obstante, en el caso de la temperatura mínima (d), con el aumento de temperatura, el diámetro del tallo aumenta en 0,051 cm. Para todos los casos, el Invernadero B presentó el menor diámetro de tallo con 0,53 cm por debajo del mayor diámetro de tallo que se encontró en el Invernadero F. Sin embargo, según el valor p obtenido, para ninguna de estas variables la relación fue

significativa por lo que no podemos concluir que exista un efecto de la temperatura sobre el diámetro del tallo, a pesar de que en algunos casos el coeficiente aumente o disminuya.

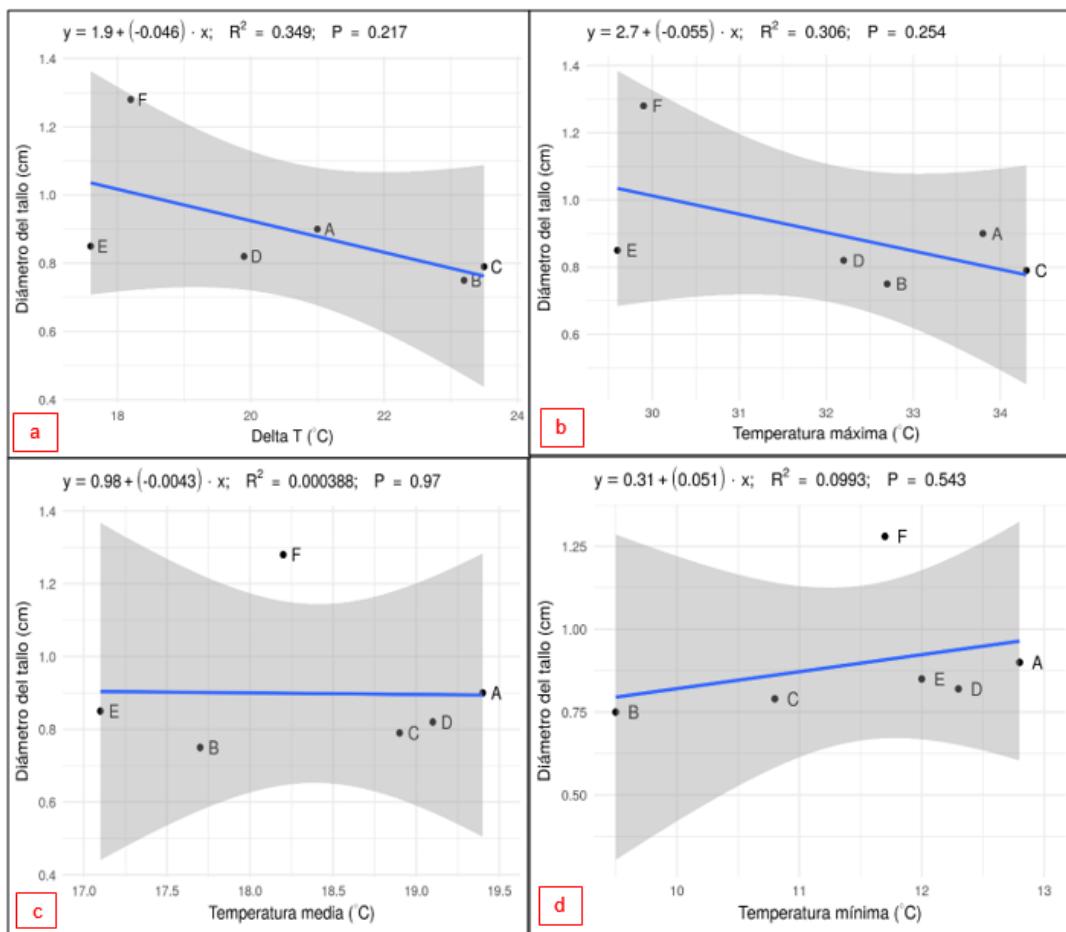


Figura 4. Relación entre el diámetro del tallo y delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c), temperatura mínima (d). Se incluye la ecuación de regresión, coeficiente de determinación y el valor p para cada regresión.

5.1.4 Número de frutos - Temperatura

En la Figura 5, se observa que, para todos los casos, mientras la temperatura aumenta el número de frutos disminuye. De esta manera, la ecuación de regresión indica que por cada grado de incremento en Delta T (a), el número de frutos se reduce en 16 unidades; para el caso de la temperatura mínima (b), se reduce en 17; con la temperatura media (c), el número de frutos se reduce en 63 y en el caso de la temperatura máxima (d) los frutos disminuyen en 31 unidades. Para todos los casos, el Invernadero A presentó el menor número de frutos con una marcada diferencia en relación al número de frutos contabilizados en los demás invernaderos, mientras que, en el Invernadero F, se registró el mayor número de frutos.

Según el valor p obtenido, no hay significancia para la relación entre el delta de temperatura y la temperatura mínima, sin embargo, la temperatura máxima sí reflejó significancia y combinada con la temperatura media, sugieren que la temperatura conforme va incrementándose podría tener un efecto en cuanto a una mayor reducción del número de frutos, esto se observa en la figura 5d, en donde los invernaderos A, B, C y D, presentan temperaturas máximas por encima de los 32 °C y muestran menor número de frutos, por el contrario, los invernaderos E y F, tienen temperaturas máximas por debajo de los 30 °C y presentan mayor número de frutos.

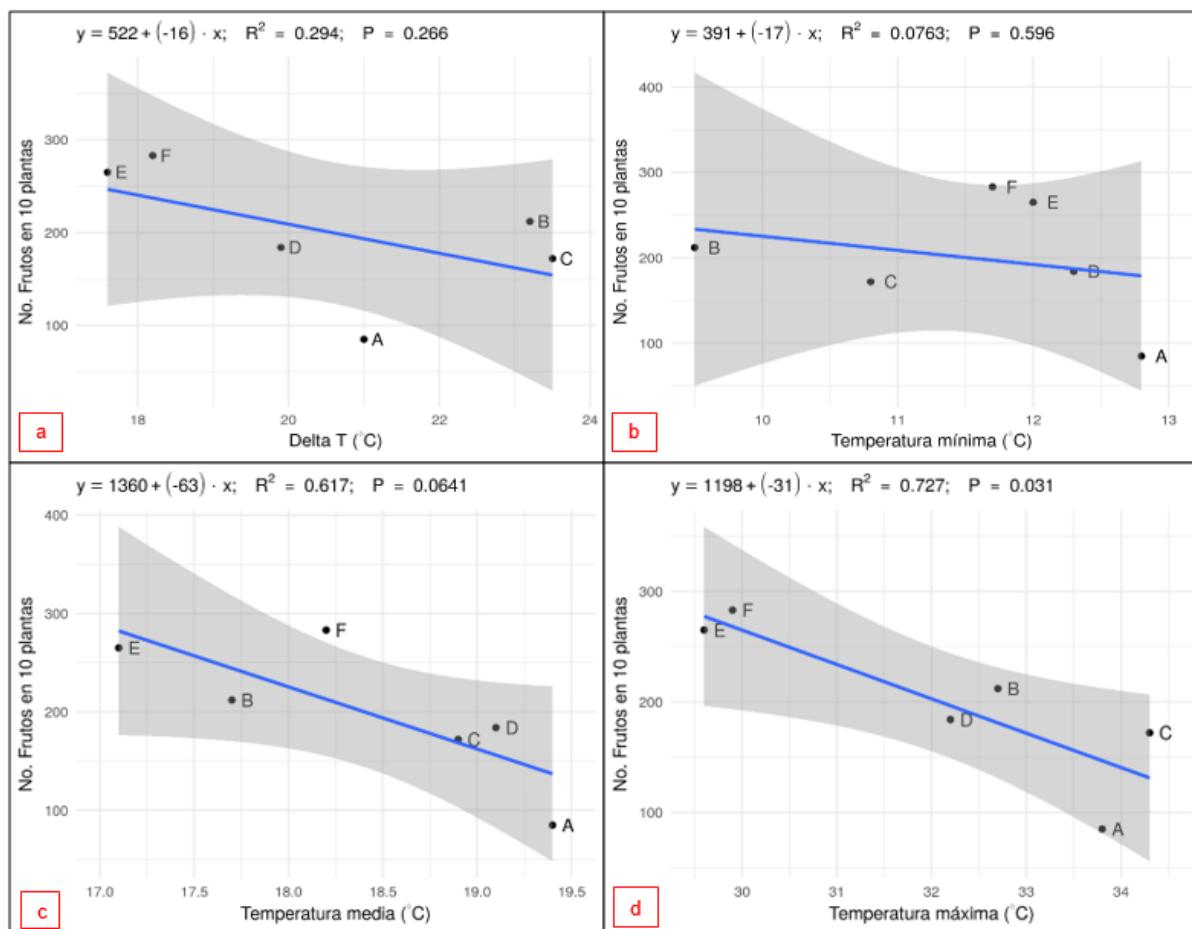


Figura 5. Relación entre el número de frutos y delta de temperatura (a), temperatura mínima (b), temperatura media (c), temperatura máxima (d). Se incluye la ecuación de regresión, coeficiente de determinación y el valor p para cada regresión.



5.2. Establecimiento de relaciones entre elementos de diseño de invernaderos y temperatura

Los datos de la Tabla 5, muestran los valores obtenidos de la medición realizada a los invernaderos muestreados y que se han tomado para realizar las ecuaciones de regresión para establecer las relaciones entre dichas variables y la temperatura.

Tabla 5

Valores obtenidos de la medición realizada a los seis invernaderos muestreados (A-F)

INVERNADERO	Altitud m.s.n.m.	Altura a la cenital (m)	Área (m ²)	%Área de ventanas	Azimut	Volumen (m ³)	Volumen unitario (m ³ /m ²)
A	2276	3,61	260,0	28,49	355°	938,6	3,61
B	2317	5,45	1485,5	15,73	314°	8096,25	5,45
C	2246	4,97	2905,5	19,65	234°	14440,3	4,97
D	2228	4,17	1865,6	23,65	50°	7779,8	4,17
E	2517	4,30	1092,0	13,85	229°	4695,6	4,30
F	2465	4,90	738,0	9,37	252°	3616,2	4,90

Nota: m.s.n.m.: metros sobre el nivel del mar, m³: metros cúbicos

5.2.1. Altitud – Temperatura

En la Figura 6, de acuerdo a la ecuación de regresión, el delta de temperatura (a) y la temperatura máxima (b) disminuyen en 0,015 °C, mientras que la temperatura media (c) disminuye en 0,0059 °C, por el contrario, la temperatura mínima (d) aumenta en 0,00072 °C conforme aumenta la altitud. Para el caso de la temperatura máxima y media el valor *p* obtenido sí fue significativo por lo que se establece una relación entre estas variables, observándose que los invernaderos E y F que se encuentran a mayor altitud (tabla 5),

presentan las menores temperaturas, mientras que los demás invernaderos al estar ubicados a menor altitud presentan temperaturas más altas.

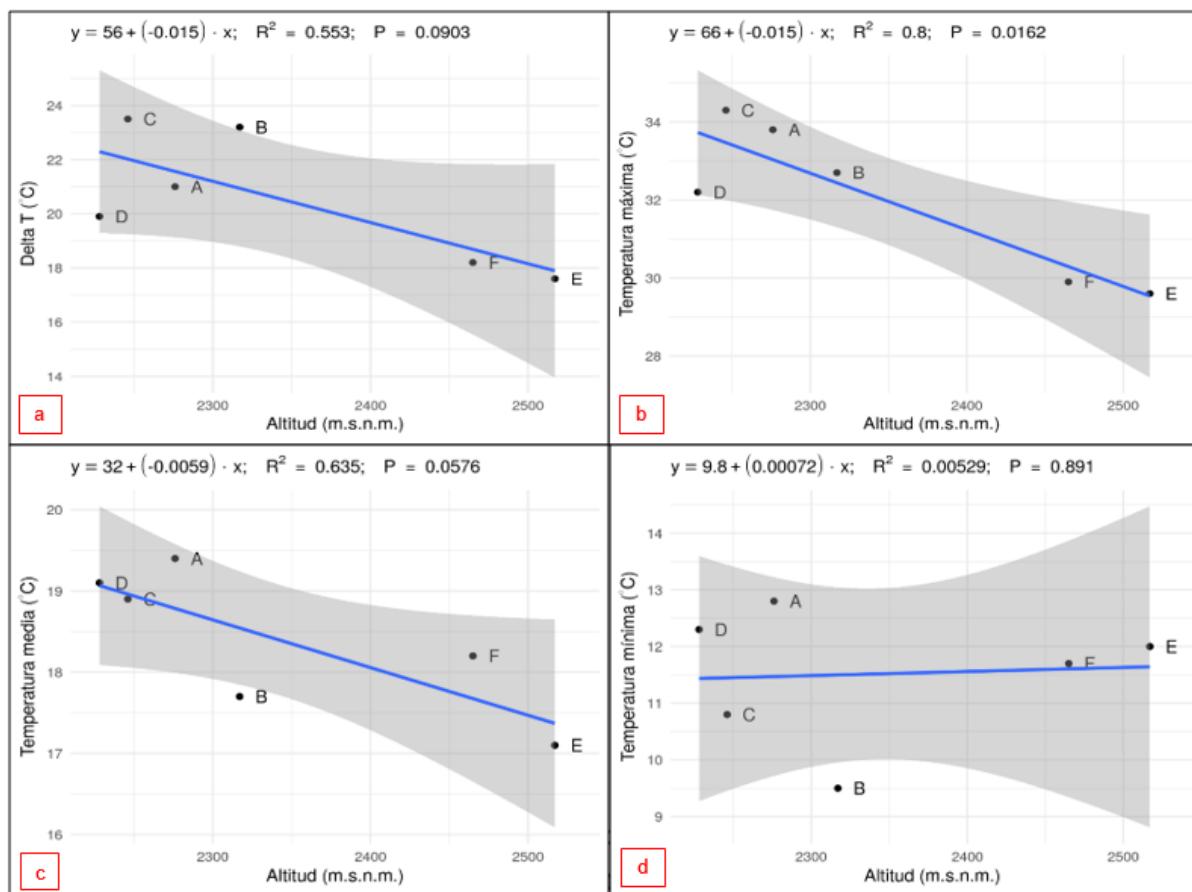


Figura 6. Relación entre la altitud y delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c), temperatura mínima (d). Se incluye la ecuación de regresión, coeficiente de determinación y el valor *p* para cada regresión.

5.2.2 Altura a la cenital – Temperatura

De acuerdo a la Figura 7, la ecuación de regresión indica que el delta de temperatura (a) aumenta en 1,5 °C conforme la altura a la cenital aumenta, por el contrario, las temperaturas: máxima (b), mínima (c) y media (d) disminuyen en 0,14 °C; 1,7 °C y 0,62 °C respectivamente. El Invernadero A presentó la menor altura a la cenital con 0,56 m por debajo del Invernadero D, mientras que el Invernadero B presentó la mayor altura a la cenital con 0,48 m por encima del Invernadero C (tabla 5). Sin embargo, según el valor *p* obtenido, solo para la temperatura mínima la relación fue significativa, señalando que, a mayor altura a la cenital, se obtiene una menor temperatura mínima dentro del invernadero, esto se aprecia en el invernadero B que

fue el invernadero con mayor altura a la cenital, pero obtuvo la menor temperatura mínima, por el contrario, el invernadero A, con menor altura a la cenital presentó la mayor temperatura mínima.

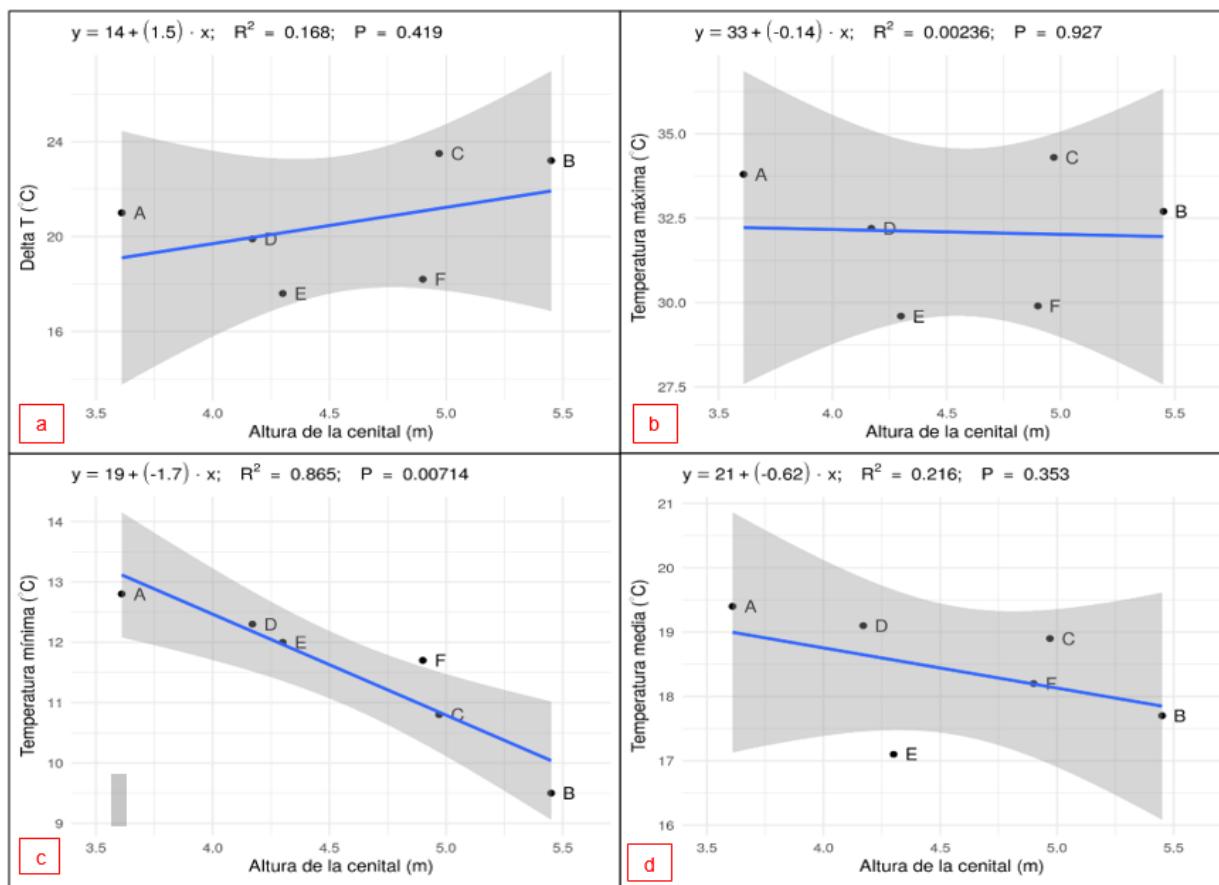


Figura 7. Relación entre la altura a la cenital y delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura mínima (c), temperatura media (d). Se incluye la ecuación de regresión, coeficiente de determinación y el valor p para cada regresión.

5.2.3 Área - Temperatura

Según la Figura 8, la ecuación de regresión indica que conforme se incrementa el área del invernadero, el delta de temperatura (a) se incrementa en $0,0015\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la temperatura máxima (b), aumenta en $0,00086\text{ }^{\circ}\text{C}$, sin embargo, la temperatura media (c) y mínima (d), disminuyen en $0,000095\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $0,000061\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente. El Invernadero A, fue el que presentó la menor área de todos, con $2645,5\text{ m}^2$ por debajo del Invernadero C, que fue el que mostró la mayor área (tabla 5). Sin embargo, según el valor p obtenido, para ninguna de estas variables la

relación fue significativa por lo que no podemos concluir que exista un efecto del área del invernadero sobre la temperatura.

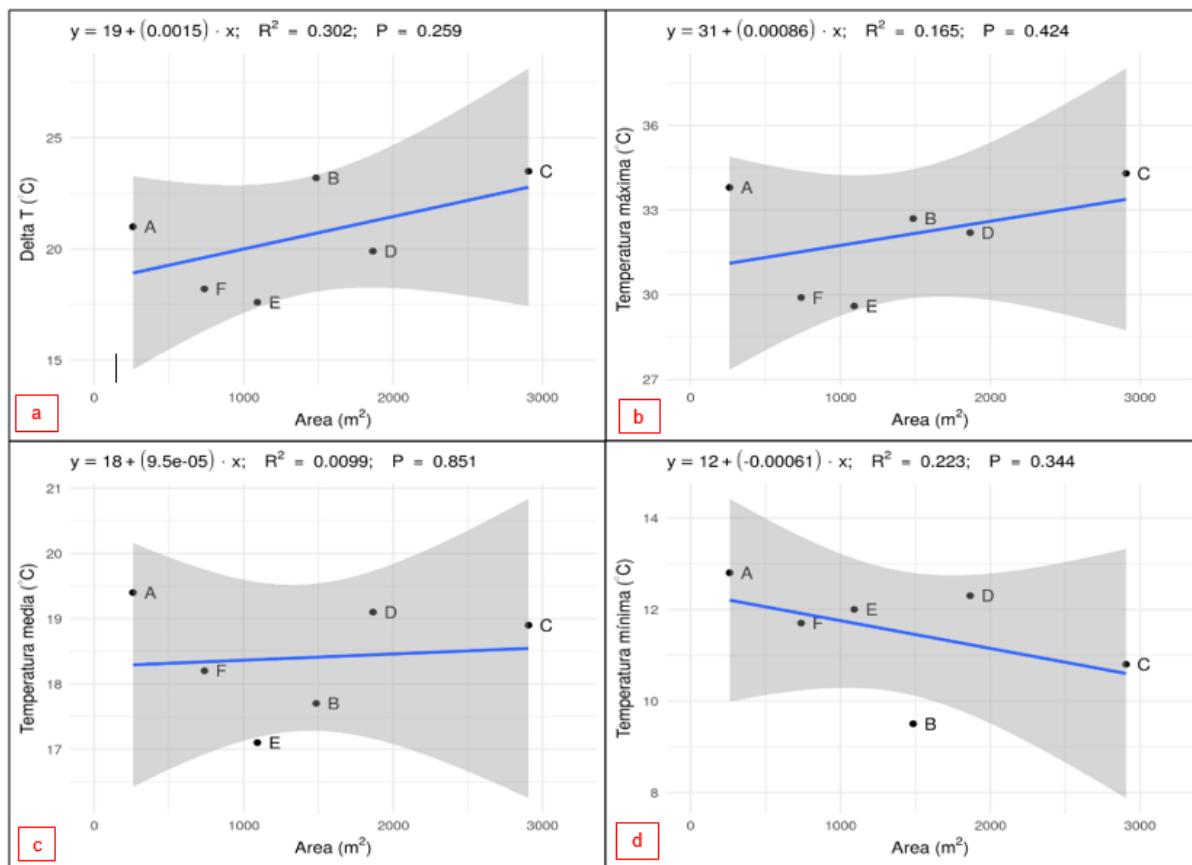


Figura 8. Relación entre el área del invernadero y delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c), temperatura mínima (d). Se incluye la ecuación de regresión, coeficiente de determinación y el valor p para cada regresión.

5.2.4 Porcentaje de área de ventanas – Temperatura

Según la Figura 9, se observa una tendencia general que señala que mientras el porcentaje de área de ventanas aumenta, la temperatura también se incrementa. De esta manera, la ecuación de regresión indica que conforme se incrementa el porcentaje de área de ventanas, el delta de temperatura (a), la temperatura máxima (b), la temperatura media (c) y la temperatura mínima (d), se incrementan en $0,13\ ^{\circ}\text{C}$, $0,21\ ^{\circ}\text{C}$, $0,1\ ^{\circ}\text{C}$ y $0,074\ ^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Si bien el Invernadero A, fue el que presentó el mayor porcentaje de área de ventanas no se marca una gran diferencia con respecto al porcentaje de área de ventanas del Invernadero D, por el contrario, el Invernadero F fue el que presentó el menor porcentaje de área de ventanas, aunque igualmente no se marca una gran diferencia con respecto al

Invernadero E (tabla 5). Sin embargo, según el valor p obtenido, para ninguna de estas variables la relación fue significativa por lo que no podemos concluir que exista un efecto del porcentaje de área de ventanas sobre la temperatura.

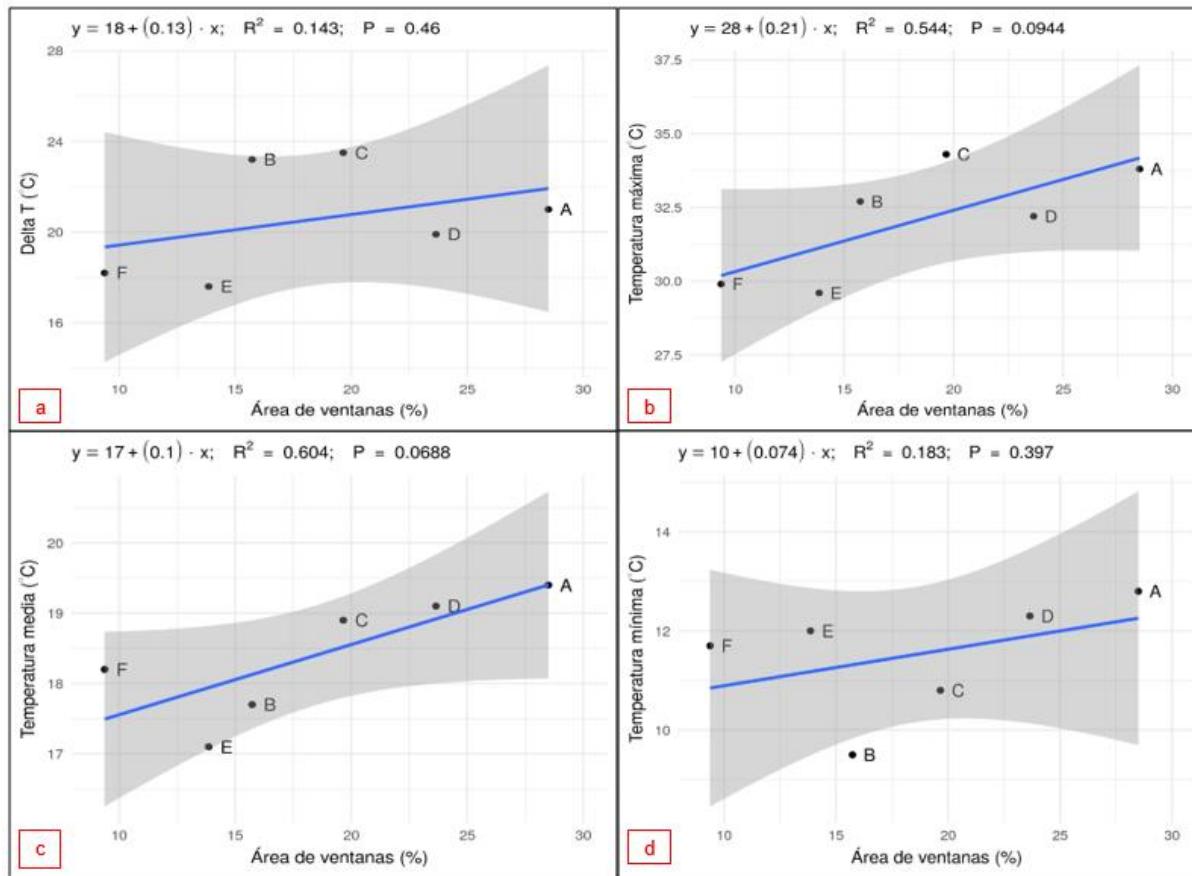


Figura 9. Relación entre el porcentaje de área de ventanas del invernadero (%) y delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c), temperatura mínima (d). Se incluye la ecuación de regresión, coeficiente de determinación y el valor p para cada regresión.

5.2.5 Ubicación de los invernaderos expresada en Azimut – Temperatura

En la Figura 10, según el valor p obtenido, para ninguna de estas variables la correlación fue significativa por lo que no podemos concluir que exista un efecto de la ubicación del invernadero expresada en azimut sobre la temperatura. Sin embargo, como se observa en la

Figura 11, los invernaderos A y B, están situados al Noroeste, los invernaderos C, E y F están ubicados al Suroeste y el invernadero D se encuentra al Noreste.

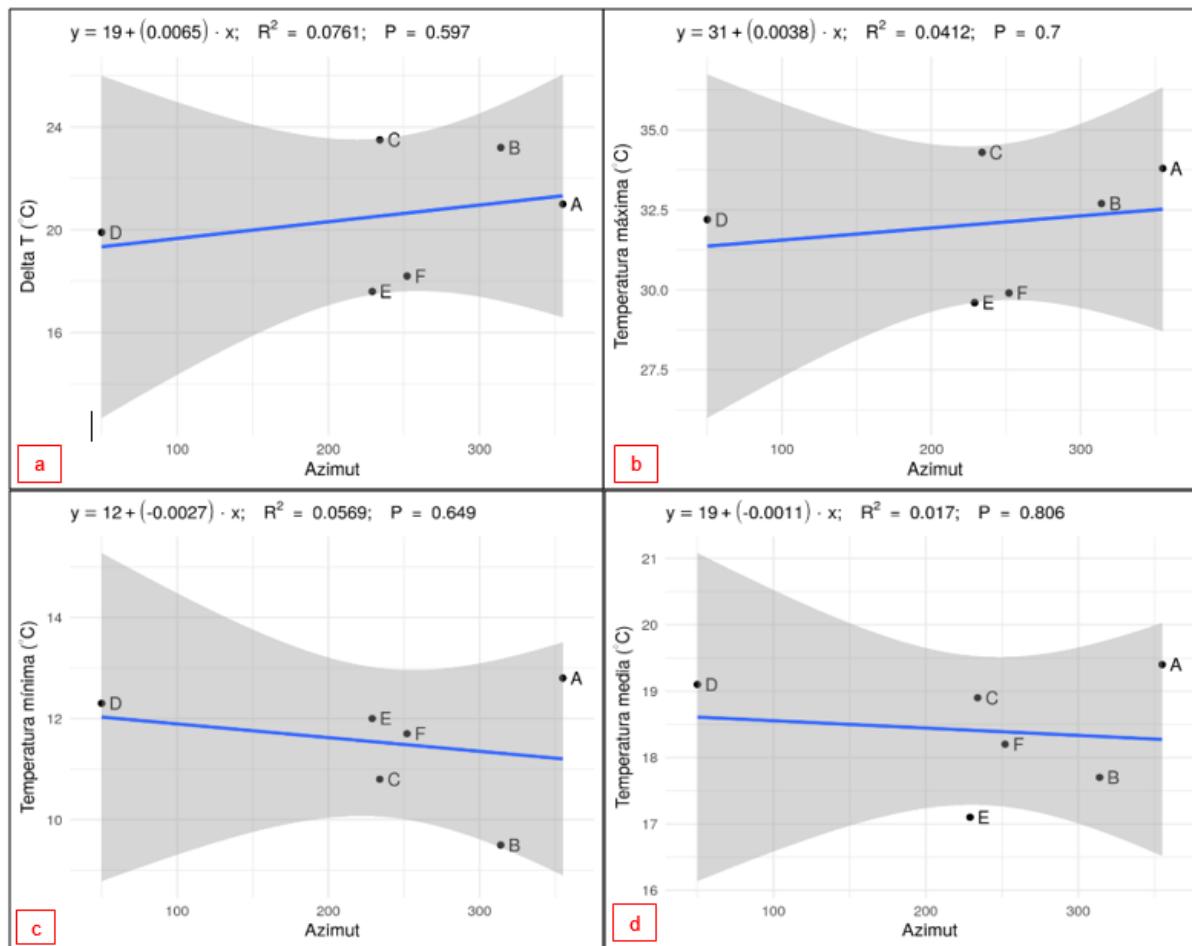


Figura 10. Relación entre la ubicación del invernadero expresada en azimut y delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura mínima (c), temperatura media (d). Se incluye la ecuación de regresión, coeficiente de determinación y el valor p para cada regresión.

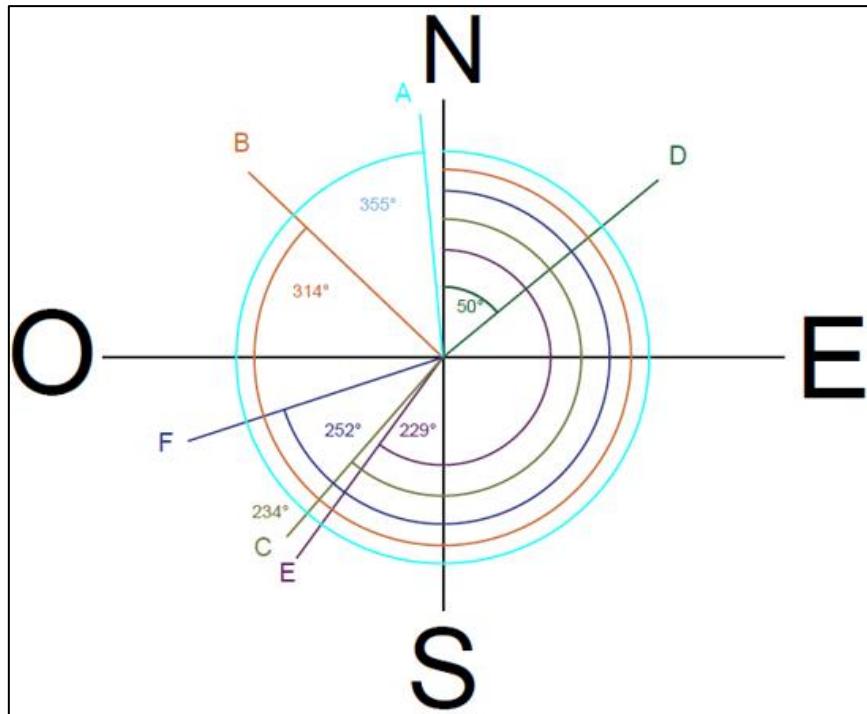


Figura 11. Ubicación de los invernaderos expresada en azimut, graficada sobre un plano cartesiano. Realizado en AutoCAD®.

5.2.6 Volumen – Temperatura

En la Figura 12, la ecuación de regresión indica que conforme el volumen del invernadero aumenta, el delta de temperatura (a), y la temperatura máxima (b) también aumentan en 0,00033 °C y 0,00018 °C respectivamente. No obstante, la temperatura media (c) y la temperatura mínima (d), disminuyen en 0,00001 °C y 0,00015 °C correspondientemente. El Invernadero A, presentó el menor volumen unitario, aunque no se diferencia por mucho del Invernadero D, mientras que el Invernadero B mostró el mayor volumen unitario seguido del Invernadero C (tabla 5). Sin embargo, según el valor p obtenido, para ninguna de estas variables la relación fue significativa por lo que no podemos concluir que exista un efecto del volumen del invernadero sobre la temperatura, a pesar de que en algunos casos el coeficiente aumente o disminuya.

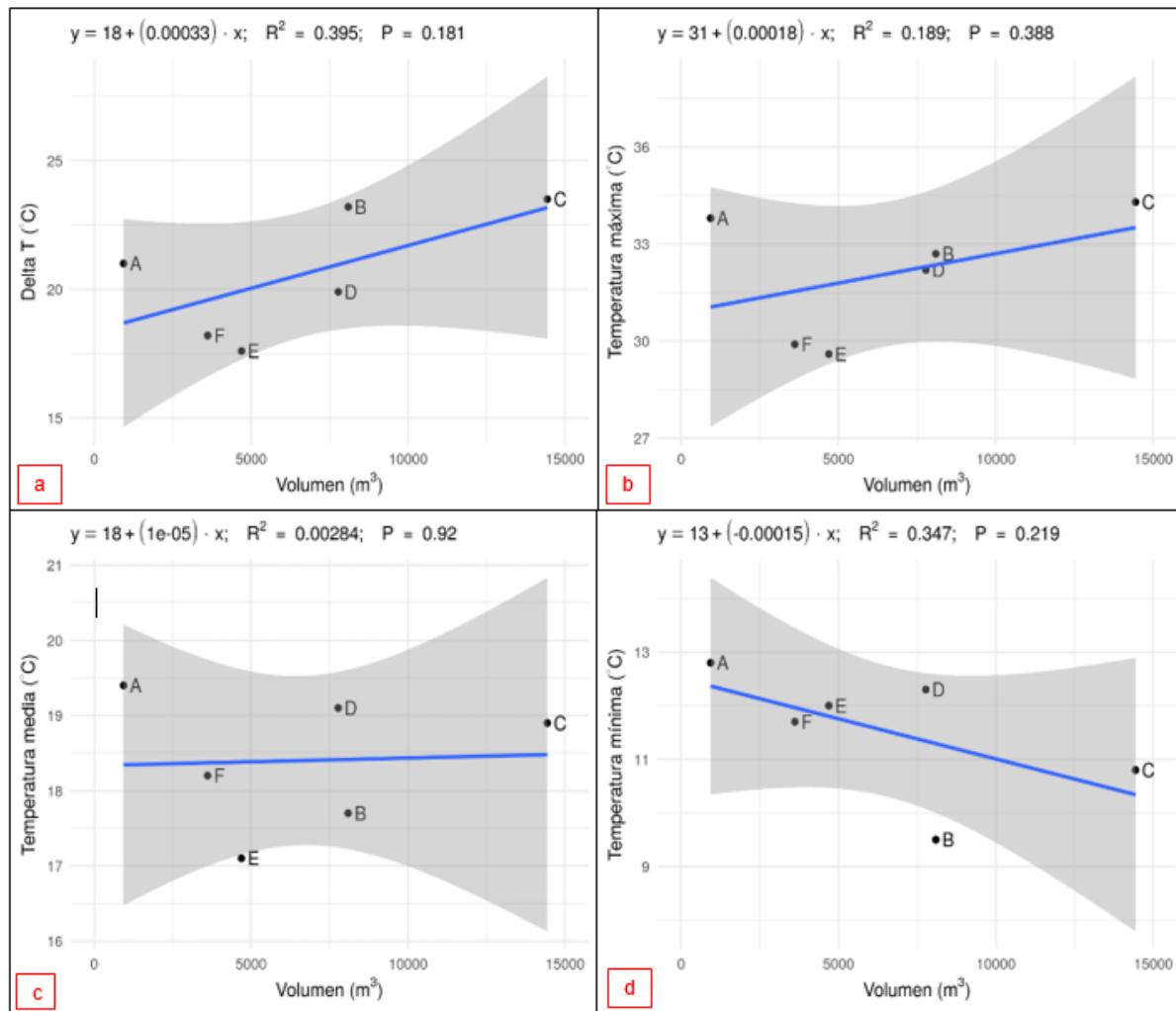


Figura 12. Relación entre el volumen del invernadero y delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c), temperatura mínima (d). Se incluye la ecuación de regresión, coeficiente de determinación y el valor *p* para cada regresión.

5.2.7 Volumen unitario – Temperatura

De acuerdo a la Figura 13, la ecuación de regresión indica que, a mayor volumen unitario, el delta de temperatura (a) aumenta en 1,5 °C, por el contrario, las temperaturas: máxima (b), media (c) y mínima (d) disminuyen en 0,14 °C; 0,62 °C y 1,7 °C respectivamente.

Si bien el Invernadero A presentó el menor volumen unitario, no se diferencia por mucho del Invernadero D, de la misma manera, el Invernadero B que fue el que presentó el mayor volumen unitario no se diferencia por mucho del Invernadero C (tabla 5). Sin embargo, según el valor *p* obtenido, solo para la temperatura mínima la relación fue significativa, señalando que, a mayor volumen unitario se obtiene una menor temperatura mínima dentro del

invernadero, esto se aprecia en el Invernadero B que fue el invernadero con mayor volumen unitario, pero obtuvo la menor temperatura mínima, por el contrario, el menor volumen unitario lo tuvo el Invernadero A, mismo que obtuvo la mayor temperatura mínima.

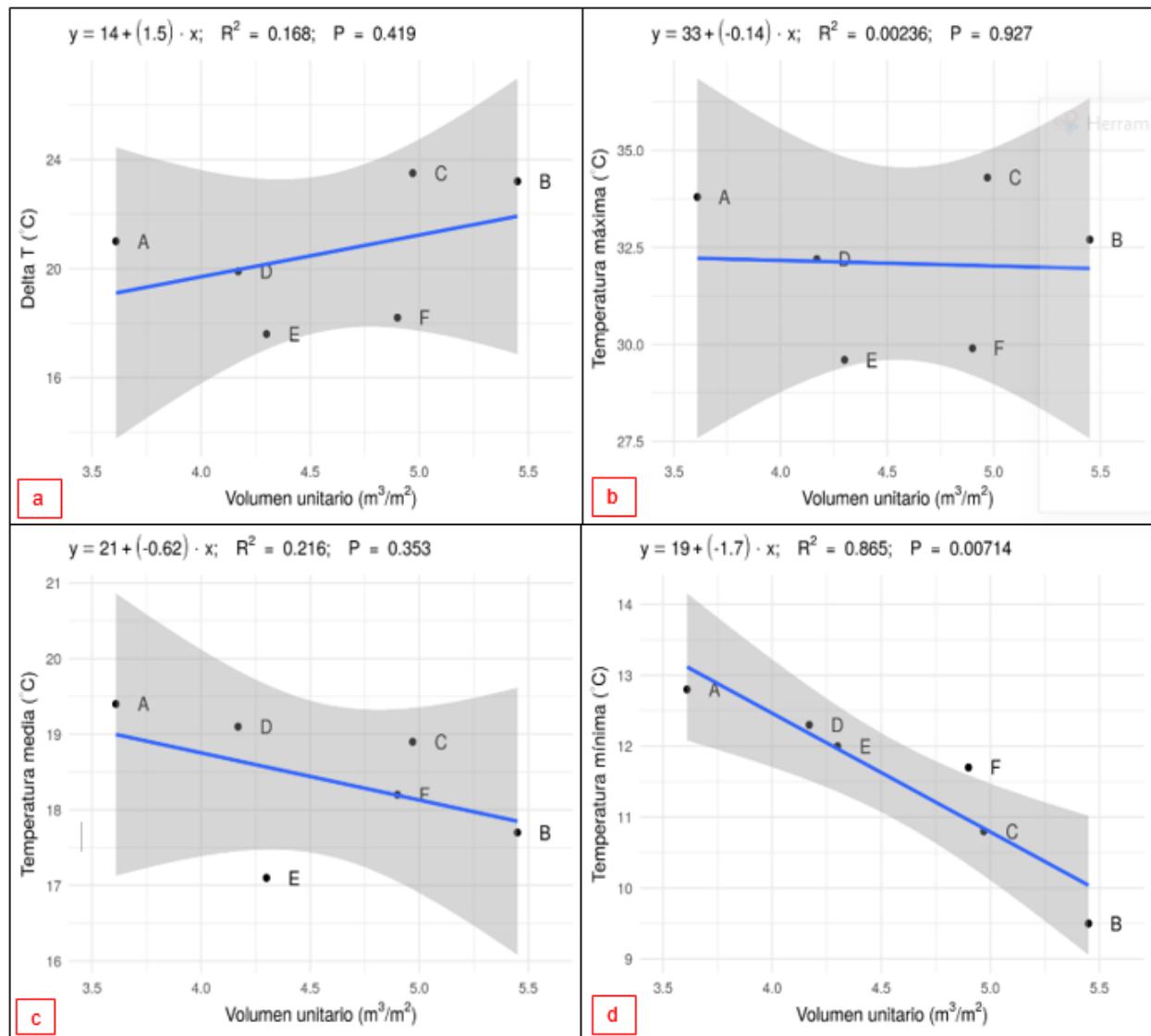


Figura 13. Relación entre el volumen unitario del invernadero y delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c), temperatura mínima (d), todas en grados centígrados (°C).

5.3 Descripción de las características del diseño de los invernaderos

5.3.1 Esquematización y descripción de los invernaderos

El Invernadero A está ubicado en el kilómetro 10 vía Paute-Guachapala a una altitud de 2276 m.s.n.m., con una orientación Norte 355° Oeste. Este es un invernadero tipo doble capilla con dos naves orientadas en la misma dirección, cuya estructura está construida con tubos redondos galvanizados, arcos de capilla semicircular y cubierta de plástico térmico de 7 años de construcción, cuenta con ventanas fijas de sarán en las paredes laterales, frontal y posterior teniendo en total un porcentaje de área de ventanas de 28,50%; la superficie del invernadero es de 260 m² (13 m x 20 m) y su volumen es de 938,6 m³ (260 m² x 3,61 m), la altura a la cenital es de 3,61 m con una abertura de 0,15 m y la altura a la canal es de 2,20 m, tal como se observa en la Figura 14.

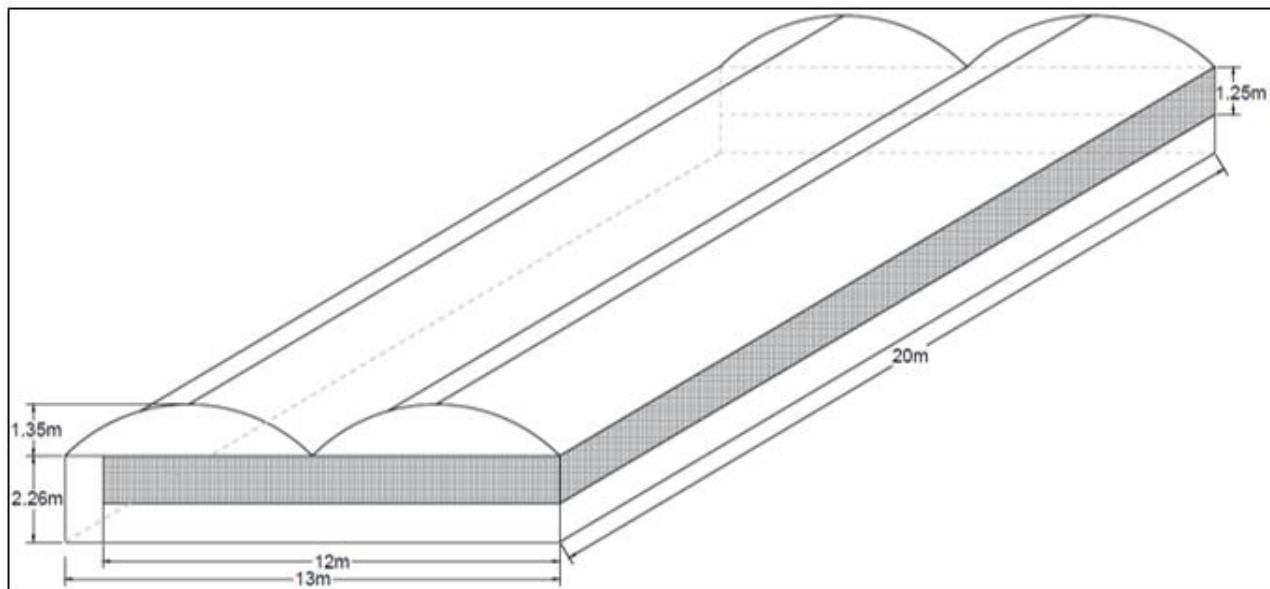


Figura 14. Esquema del “Invernadero A” a escala 1:500 realizado en AutoCAD®.



El Invernadero B está ubicado en el Centro Guachapala - Vía Monjas - Sixto Durán Ballén a una altitud de 2317 m.s.n.m., con una orientación Norte 314° Oeste. Este es un invernadero tipo multicapilla con cuatro naves orientadas en la misma dirección, cuya estructura está construida con tubos redondos galvanizados, arcos de capilla semicircular y cubierta de plástico térmico de 13 años de construcción, cuenta con ventanas fijas de sarán en las paredes laterales y cenitales teniendo en total un porcentaje de área de ventanas de 15,73%; la superficie del invernadero es de 1485,55 m² (37 m x 40,15 m) y su volumen es de 8096,25 m³ (1485,55 m² x 5,45 m), la altura a la cenital es de 5,45 m con una abertura de 0,65 m y la altura a la canal es de 2,62 m, tal como se observa en la Figura 15.

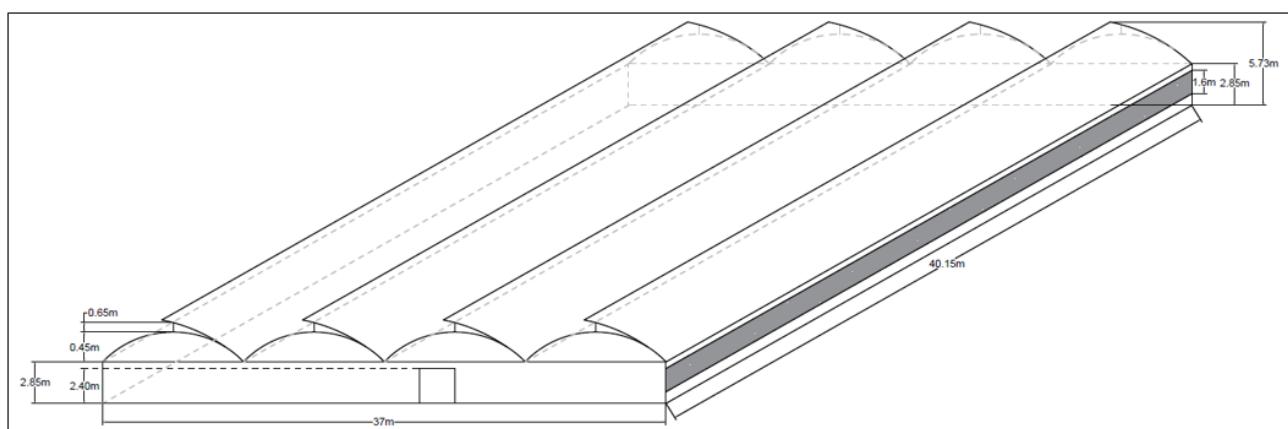


Figura 15. Esquema del “Invernadero B” a escala 1:350 realizado en AutoCAD®.

El Invernadero C está ubicado en Sacaré bajo-Guachapala a una altitud de 2246 m.s.n.m., con una orientación Norte 234° Oeste. Este es un invernadero tipo multicapilla con doce naves orientadas en la misma dirección, cuya estructura está construida con tubos redondos galvanizados, arcos de capilla semicircular y cubierta de plástico térmico de 6 años de construcción, cuenta con ventanas fijas de sarán en las paredes laterales, frontal, posterior y cenital teniendo en total un porcentaje de área de ventanas de 19,66%; la superficie del invernadero es de 2905,50 m² (77 m x 38,74 m) y su volumen es de 14440,34 m³ (2905,50 m² x 4,97 m), la altura a la cenital es de 4,97 m con una abertura de 0,45 m y la altura a la canal es de 2,52 m, tal como se observa en la Figura 16.

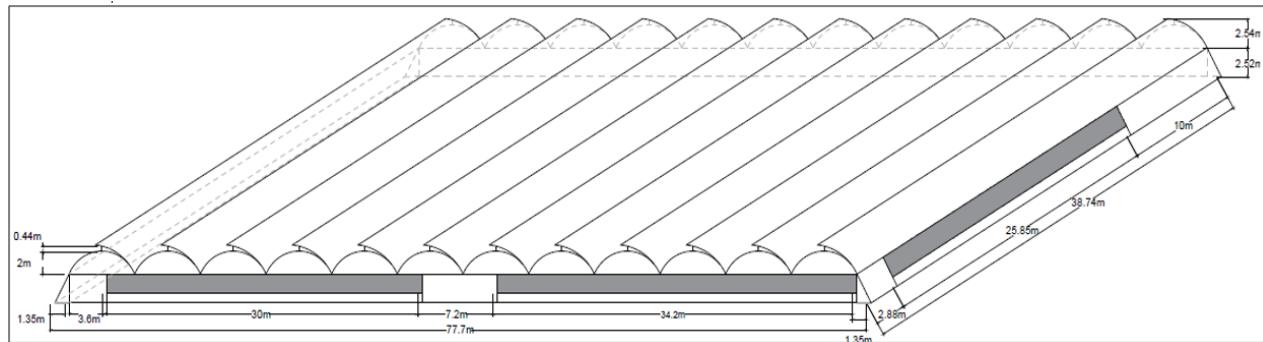


Figura 16. Esquema del “Invernadero C” a escala 1:350 realizado en AutoCAD®.

El Invernadero D está ubicado en la Vía Paute – Guachapala a una altitud de 2228 m.s.n.m., con una orientación Norte 54° Este. Este es un invernadero tipo multicapilla con tres naves orientadas en la misma dirección, cuya estructura está construida con tubos redondos galvanizados, arcos de capilla semicircular y cubierta de plástico térmico de 5 años de construcción, cuenta con ventanas enrollables de malla antiáfidos en las paredes laterales y cenitales teniendo en total un porcentaje de área de ventanas de 23,65%; la superficie del invernadero es de 1865,66 m² (26,83 m x 81,72 m) y su volumen es de 7779,80 m³ (1865,66 m² x 4,17 m), la altura a la cenital es de 4,17 m con una abertura de 0,60 m y la altura a la canal es de 2,42 m, tal como se observa en la Figura 17.

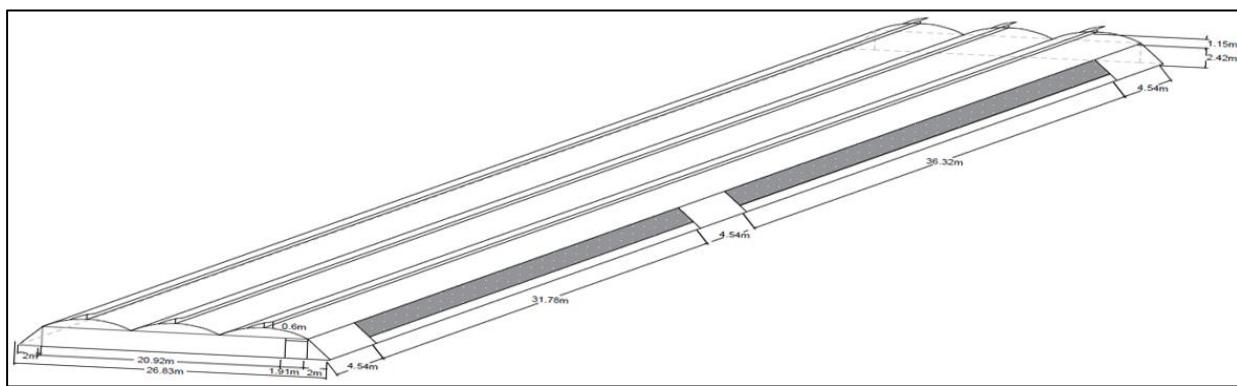


Figura 17. Esquema del “Invernadero D” a escala 1:450 realizado en AutoCAD®.

El Invernadero E está ubicado en Shaushin-Guachapala a una altitud de 2517 m.s.n.m., con una orientación Norte 229° Oeste. Este es un invernadero de techos planos simétricos a dos aguas con tres naves y media orientadas en la misma dirección, cuya estructura está construida con soportes de madera y cubierta de plástico térmico de 11 años de construcción, cuenta con ventanas fijas de sarán en las paredes laterales y cenitales teniendo en total un

porcentaje de área de ventanas de 13,86%; la superficie del invernadero es de 1092 m² (28 m x 39 m) y su volumen es de 4695,60 m³ (1092 m² x 4,30 m), la altura a la cenital es de 4,30 m con una abertura de 0,45 m y la altura a la canal es de 2,60 m, tal como se observa en la Figura 18.

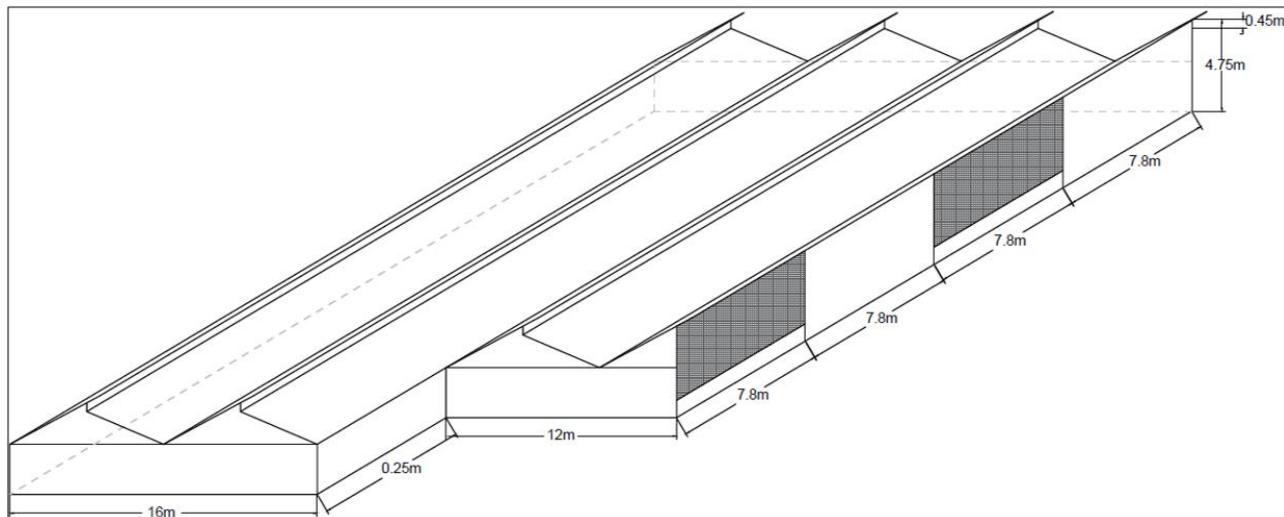


Figura 18. Esquema del “Invernadero E” a escala 1:300 realizado en AutoCAD®.

El Invernadero F está ubicado en Zhuyurloma-Paute a una altitud de 2465 m.s.n.m., con una orientación Norte 252°Oeste. Este es un invernadero tipo multicapilla con tres naves orientadas en diferentes direcciones, cuya estructura está construida con tubos redondos galvanizados, arcos de capilla semicircular y cubierta de plástico térmico de 1 año de construcción, cuenta con ventanas fijas de sarán en las paredes laterales y cenitales en las tres naves, teniendo en total un porcentaje de área de ventanas de 9,38%; la superficie del invernadero es de 738 m² (24,6 m x 30 m) y su volumen es de 3616,20 m³ (738 m² x 4,90 m), la altura a la cenital es de 4,90 m con una abertura de 0,50 m y la altura a la canal es de 2,24 m, tal como se observa en la Figura 19.

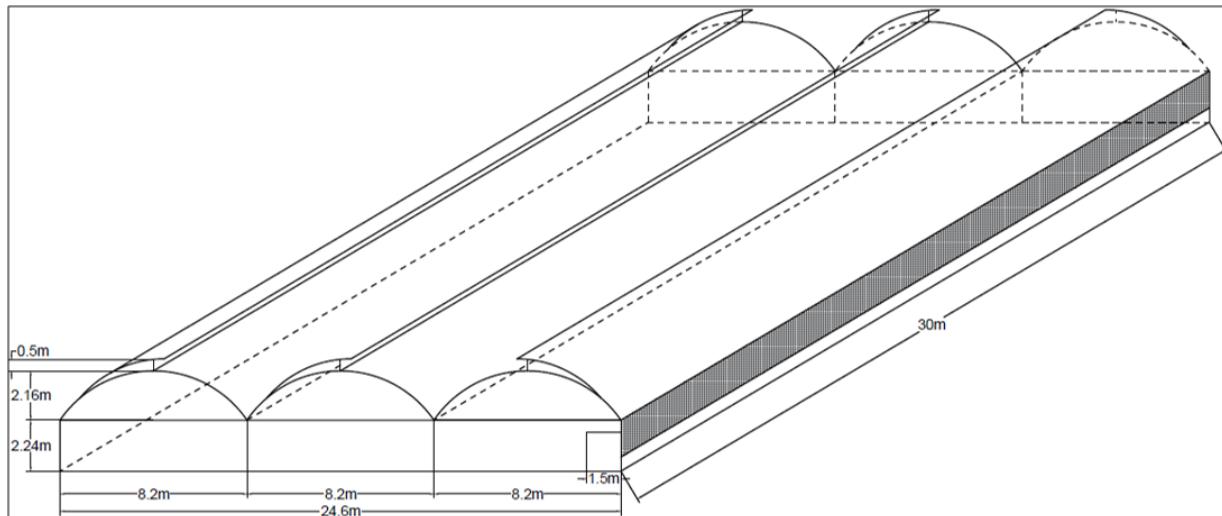


Figura 19. Esquema del “Invernadero F” a escala 1:250 realizado en AutoCAD®.



5.4 Determinación del nivel de estabilidad del microclima dentro de los invernaderos

5.4.1. Establecimiento de la fracción de tiempo que la planta se encuentra bajo temperaturas óptimas y no óptimas

Los datos de la Tabla 6, muestran los valores obtenidos que se han tomado para establecer la fracción de tiempo que los invernaderos se encuentran sobre, bajo, y dentro del rango óptimo de temperatura para el desarrollo del cultivo, tanto en el exterior como en el interior de los invernaderos (figura 20).

Tabla 6

Porcentaje de tiempo que las plantas se encuentran bajo, sobre y dentro del rango óptimo de temperatura en el exterior e interior del invernadero

Invernadero	Porcentaje de tiempo bajo el rango óptimo de T°		Porcentaje de tiempo sobre el rango óptimo de T°		Porcentaje de tiempo dentro del rango óptimo de T°	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
A	17%	27%	16%	3%	67%	70%
B	39%	47%	8%	5%	52%	47%
C	28%	40%	17%	4%	55%	56%
D	18%	27%	12%	5%	70%	68%
E	44%	55%	4%	1%	53%	44%
F	36%	47%	11%	1%	53%	52%

En la Figura 20, se observa que, en el exterior del invernadero, las temperaturas no óptimas se encuentran principalmente por debajo del rango óptimo, es decir que se tienen temperaturas más frías, mientras que en el interior del invernadero existe un incremento del porcentaje de tiempo en que las plantas se encuentran por encima del rango óptimo, es decir que se tiene un aumento de temperaturas altas, es así que dentro del Invernadero A y C, se incrementa un 13% el tiempo en que las plantas se encuentran sobre el rango óptimo de temperatura, en el Invernadero B y E se incrementa en un 3%, en el Invernadero D, el incremento es del 7% y en el Invernadero F se presenta un incremento del 12%.

Si bien es cierto, se puede apreciar que en el interior del Invernadero A, se reduce en 3% el tiempo que el cultivo se encuentra dentro del rango óptimo de temperatura respecto al exterior del invernadero, para los Invernaderos: B, C, D, E y F, se muestra un pequeño incremento de tiempo en 5%, 1%, 2%, 9% y 1% respectivamente, en el que el cultivo se encuentra dentro del rango óptimo de temperatura, sin embargo, este incremento no representa una mejora

significativa del porcentaje de tiempo en que las plantas se encuentran dentro del rango óptimo de temperatura dentro del invernadero.

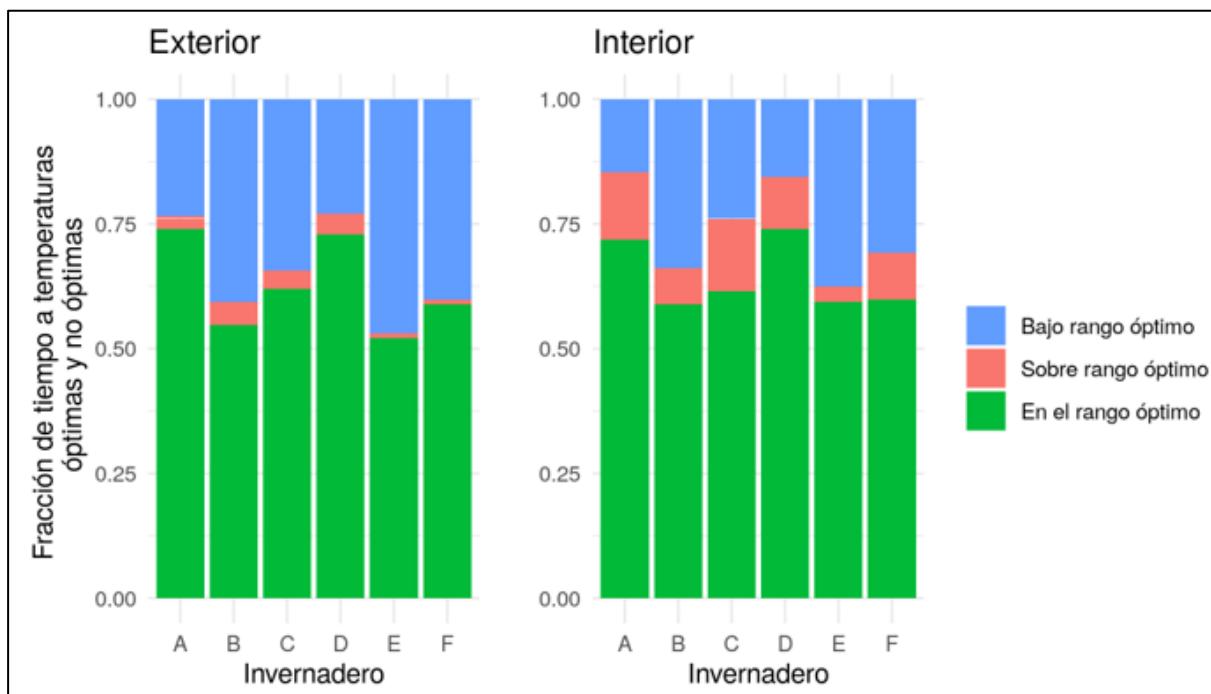


Figura 20. Fracción de tiempo que los invernaderos se encuentran por encima (sobre), por debajo (bajo), y dentro (en) del rango óptimo de temperatura para el desarrollo del cultivo, tanto en el exterior como en el interior de los invernaderos.

5.4.2. Comportamiento de la temperatura en los invernaderos

En la Figura 21, se observa la fluctuación entre la temperatura exterior e interior de los invernaderos. Para el Invernadero A y C se tiene una oscilación de aproximadamente 7,5 °C entre el interior y exterior respecto a las temperaturas altas durante el día, para los invernaderos B, D y F la fluctuación está cerca de los 5 °C, mientras que para el Invernadero E es de 4,5 °C. Por el contrario, los picos más bajos de temperatura indican que durante la noche la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del invernadero fluctúan aproximadamente entre -1,5 °C y 1,5 °C, lo que sugiere que los invernaderos no están realmente cumpliendo la función de mantener los rangos de temperatura óptimos para el desarrollo de *Solanum lycopersicum*.

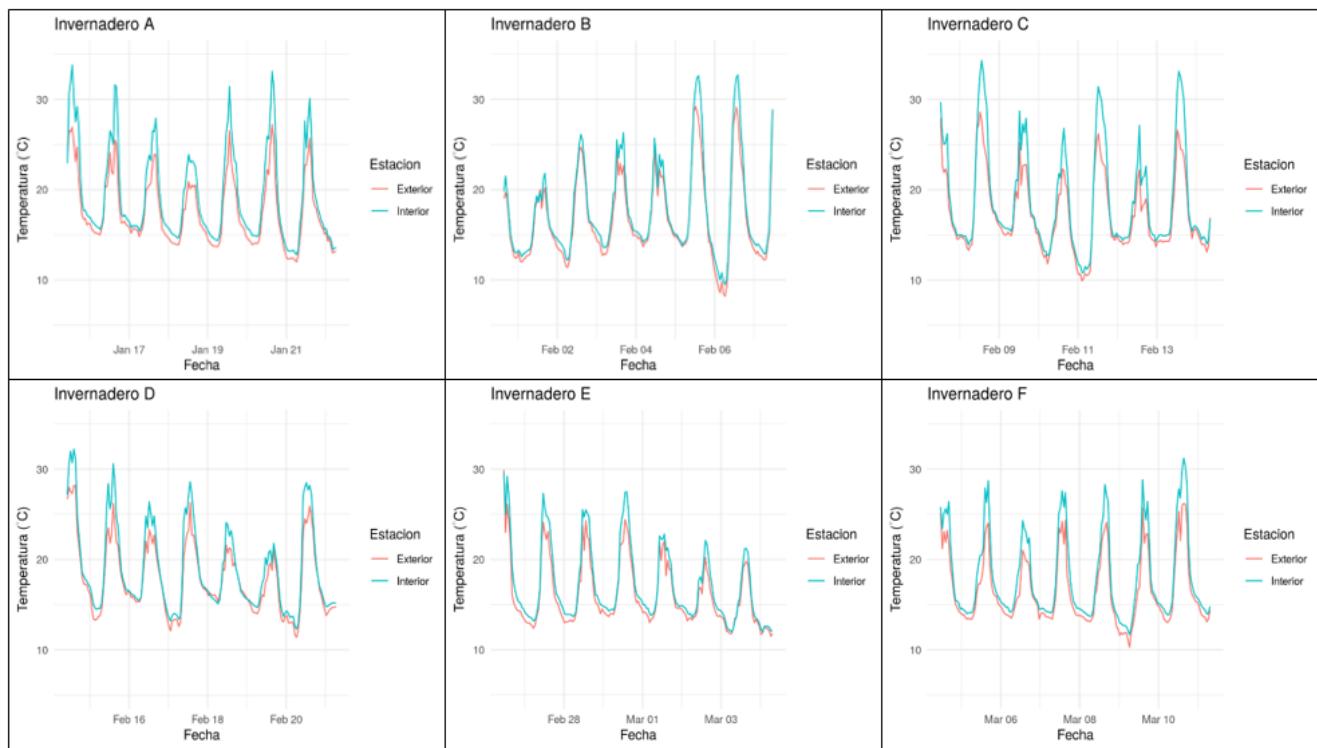


Figura 21. Evolución horaria de la temperatura en el interior y exterior de los invernaderos durante los ocho días de medición.

5.4.3. Humedad Relativa (HR%) en los invernaderos

Los datos de la Tabla 7, muestran los valores obtenidos de humedad relativa máxima, media y baja tanto en el exterior como en el interior de cada invernadero.

Tabla 7.

Valores de Humedad Relativa (%) obtenidos de la medición realizada a los seis invernaderos muestreados (A-F)

Invernadero	Humedad relativa mínima (%)		Humedad relativa media (%)		Humedad relativa máxima (%)	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
A	48,2	51,1	75,5	80,7	89,3	96,4
B	48,0	44,0	78,0	79,7	89,8	96,5
C	46,1	46,7	76,0	79,5	89,4	95,2
D	56,1	45,0	79,6	76,9	92,0	94,6
E	61,8	56,2	83,5	83,7	91,7	95,6
F	59,5	53,3	81,6	81,7	92,2	95,6

En la Figura 22, se observa que, en el exterior del invernadero los picos de humedad relativa por la noche son más altos que en el interior ya que todos los invernaderos presentan una humedad relativa superior al 90% en al menos cuatro noches. Por el contrario, los picos más bajos de humedad relativa (menores a 60%) se muestran en el exterior para los invernaderos B, D, E y F, mientras que para los invernaderos A y C, los picos más bajos de humedad relativa se muestran en el interior. No obstante, no se presenta mucha diferencia entre el interior y exterior, lo que sugiere que estas infraestructuras no se encuentran optimizadas y el tener humedades relativas dentro de los invernaderos superiores al 80% podría favorecer el desarrollo de enfermedades.

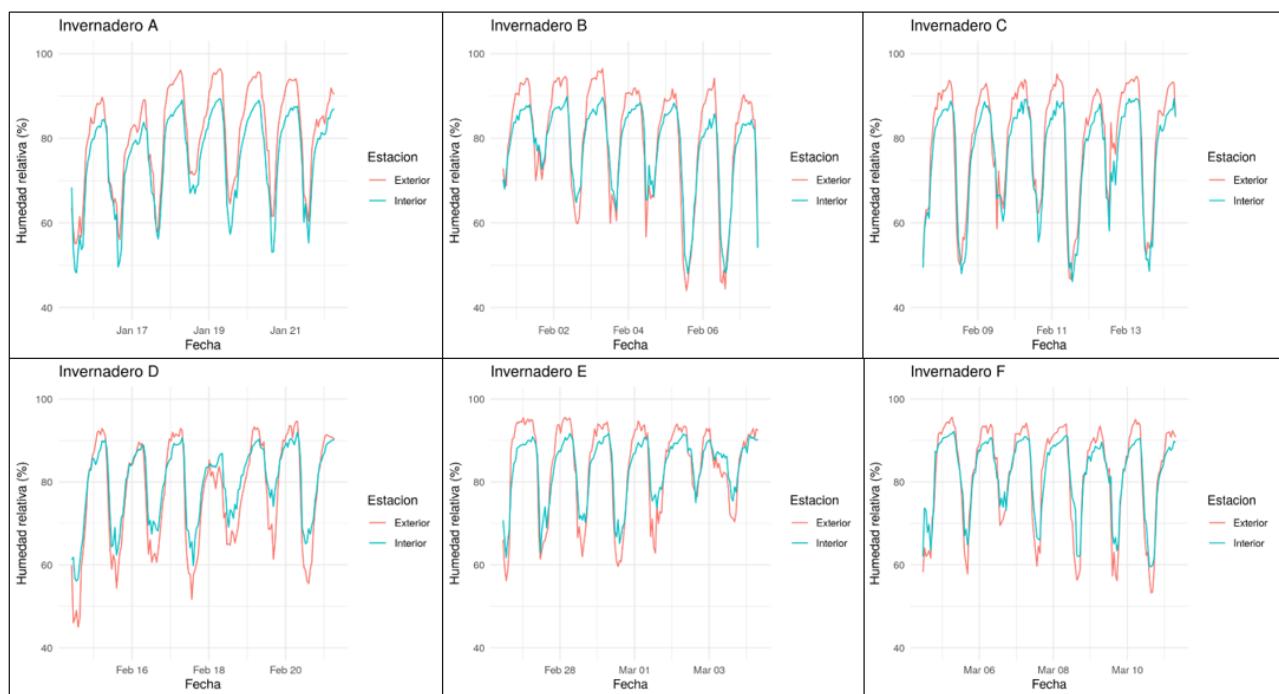


Figura 22. Evolución horaria de la humedad relativa (%) en el interior y exterior de los invernaderos durante los ocho días de medición.

5.5.4. Déficit de Presión de Vapor (DPV) en los invernaderos

En la Figura 23, se observa que en general, dentro de todos los invernaderos, se sobrepasa el nivel óptimo de DPV de 1 kPa, inclusive los invernaderos A, B y C, sobrepasan marcadamente el límite óptimo máximo de 2 kPa en al menos dos días, en el caso del Invernadero D, este excedente es mínimo y se presenta en un solo día, mientras que los invernaderos E y F no sobrepasan los 2 kPa. No obstante, solo en los invernaderos B y D se

superá mínimamente este valor en el exterior. Por el contrario, para todos los invernaderos tanto en el interior como en el exterior, el déficit de presión de vapor se encuentra por debajo del rango óptimo de 0,5 kPa.

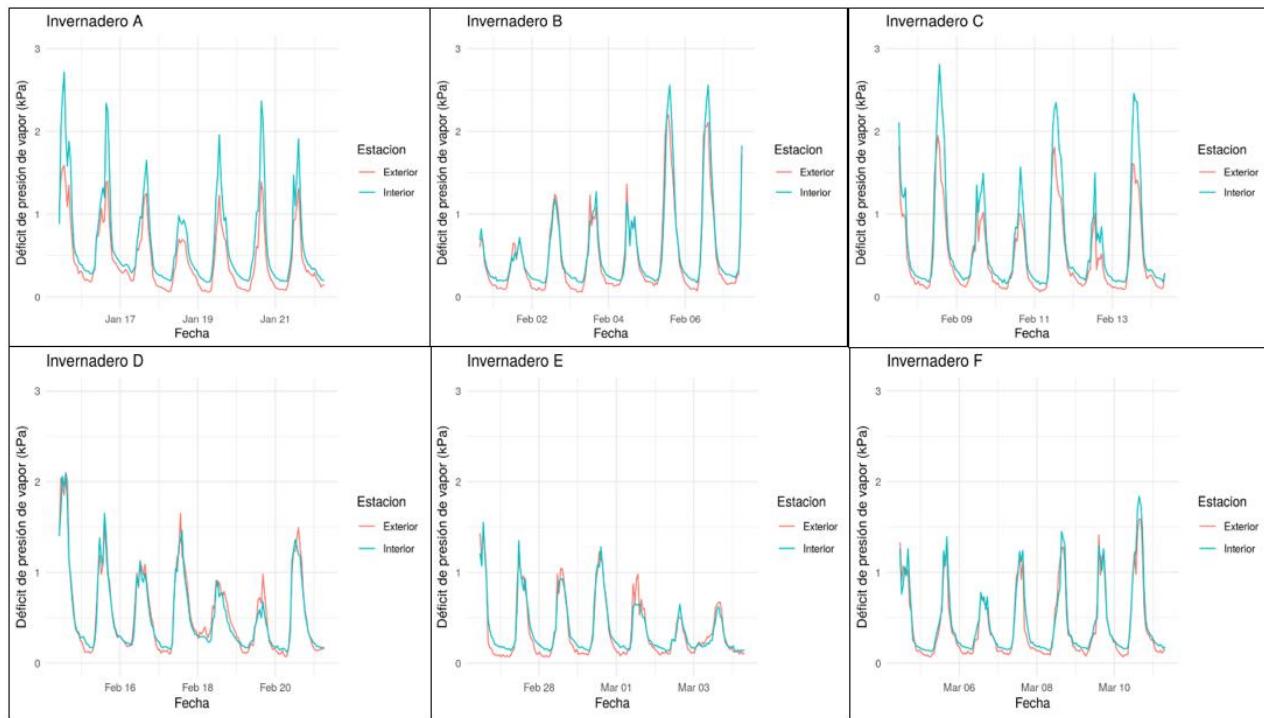


Figura 23. Evolución horaria del Déficit de Presión de Vapor (kPa) en el interior y exterior de los invernaderos durante los ocho días de medición.



CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

Para este estudio se ha tomado como referencia el rango óptimo de temperatura para el desarrollo de *Solanum lycopersicum* para la etapa fenológica de floración descrito por (INIA, 2017), el cual se encuentra entre 15-26 °C. No obstante, otros autores han reportado que este cultivo puede desarrollarse óptimamente en un rango de temperatura diurna entre 17-25 °C y nocturna de 10-14 °C (Iglesias, 2015), para el cuajado de frutos los rangos óptimos se encuentran entre 23-26 °C y 14-17 °C durante el día y la noche respectivamente (Vázquez, 2012).

Por su parte López (2017), menciona que el rango de temperatura óptimo para el tomate es de 10-17°C durante la noche y por el día es de 20-30 °C, esto es compatible con los resultados observados donde se muestra que todos los invernaderos que presentaron temperaturas máximas inferiores a los 30 °C presentaron un mayor número de frutos, mientras que, en aquellos que presentaron temperaturas máximas superiores a 32 °C, se contabilizó un menor número de frutos, marcando una diferencia de aproximadamente 50 frutos en 10 plantas, por lo que se podría pensar que las altas temperaturas dentro del invernadero estarían limitando la producción, debido a que temperaturas superiores a 30-35 °C afectan la fecundación de los óvulos y la fructificación perjudicando el desarrollo de los frutos, disminuyendo el crecimiento y la biomasa de la planta (López, 2017). Además, se debe tomar en cuenta que temperaturas altas en combinación con una humedad relativa baja, pueden generar aborto floral y reducen la viabilidad del polen (INIA, 2017).

Respecto a la ubicación de los invernaderos por pisos altitudinales, los invernaderos ubicados a mayor altitud presentaron temperaturas máximas por debajo de 30 °C, mientras que los invernaderos ubicados a menor altitud presentaron las temperaturas máximas más altas, lo que indicaría que posiblemente los invernaderos en Paute y Guachapala no deberían establecerse en zonas bajas como valles, si no por el contrario en zonas de mayor altitud, esto podría generar mayores dificultades topográficas a la hora de la construcción del invernadero, ya que de esta manera se mantiene una mejor temperatura dentro del invernadero al ubicarse a mayor altitud, obteniéndose deltas de temperatura más bajos, aun cuando se encuentren construidos con pendientes pronunciadas, contrario a las recomendaciones en las que se menciona que son preferibles terrenos nivelados con pendientes poco elevadas de hasta 2% (Gassó y Solomando, 2011) e incluso que no sobrepasen el 1% (Marín, 2013).



Otros factores importantes que determinan la estabilidad del microclima dentro del invernadero son: la altura, el volumen unitario y la inercia térmica del sistema, los cuales están estrechamente relacionados, mientras mayor sea el volumen unitario, mejor inercia térmica presentará la estructura, es decir que, no existirán cambios bruscos de temperatura (calentarse o enfriarse abruptamente durante el día o la noche), por lo que se recomienda que el volumen unitario sea igual o mayor a 3; una manera de incrementar este valor es aumentando la altura del invernadero (Francescangeli y Mitidieri, 2006), en este sentido todos los invernaderos de este estudio cumplen con esa recomendación.

Por otra parte, una investigación sobre el efecto de la altura y volumen de un invernadero en el incremento de la temperatura interna, realizada por Bouchet et al., 2007, manifestó que invernaderos con mayor altura permiten un mejor comportamiento térmico del sistema, aumentando la inercia térmica y con esto ratificando la construcción de invernaderos altos, sin embargo, esto difiere de los resultados obtenidos en este estudio, en donde se encontró que los invernaderos con mayor altura y mayor volumen unitario, presentaron una menor temperatura dentro del invernadero, lo que sugiere que probablemente en la zona de Paute-Guachapala, sería más recomendable la construcción de invernaderos con menor altura debido a que pueden presentar mayor estabilidad térmica.

Respecto al porcentaje de área de ventanas, si bien esta es una variable descriptiva del diseño del invernadero, según los resultados obtenidos, en los que se aprecia que, a mayor porcentaje de área de ventanas, la temperatura incrementa, de manera contradictoria a lo que se esperaría (que las ventanas del invernadero cumplan la función de remover el aire caliente que se encuentra dentro), la manera en la que se manejan estas ventanas puede presentar diferentes variaciones. No obstante, esta tendencia no fue significativa por lo que no se hacen aseveraciones firmes sobre estos resultados. Para este estudio no se registró el régimen de manejo (apertura o cierre) de las ventanas de cada invernadero, debido a que en algunos invernaderos las ventanas se mantienen abiertas todo el tiempo porque no cuentan con un sistema de apertura y cierre (cortinas), otros invernaderos en los que se las mantienen cerradas la mayor parte del tiempo y otros en los que se abren las cortinas en la mañana y se las cierran por la tarde.

Una manera de caracterizar el clima de un invernadero es mediante el Déficit de Presión de Vapor (DPV) debido a que integra la temperatura y humedad relativa en un solo valor, siendo útil para la prevención de enfermedades, determinar la necesidad de riego, controlar la conductancia estomática y fotosíntesis. Valores adecuados de DPV se encuentran en un rango de 0,5-2 kPa (Beluzán, 2013). Para la mayoría de cultivos el DPV debe mantenerse



entre 0,45 y 1,25 kPa con un nivel óptimo de 0,85 kPa (CANNA, s. f.). Shamshiri et al., (2018) indica que los valores adecuados de DPV se encuentran en el rango de 0,3-1,0 kPa, sin embargo, para este estudio se ha tomado como referencia un rango óptimo de DPV de 0,5-1 kPa.

En este sentido, el déficit de presión de vapor, en todos los invernaderos tanto en el interior como en el exterior, se encontró por debajo del rango óptimo, esto significa que un DPV inferior a 0,2-0,5 kPa, impide el desprendimiento del polen, dificulta la transpiración de la planta, por ende, la fotosíntesis y se reduce su crecimiento, esto también representa un problema ya que se ha comprobado que los agentes fúngicos pueden subsistir en ambientes por debajo de 0,43 kPa, e inclusive por debajo de 0,20 kPa, en donde se ocasiona mayor daño al cultivo y trastornos fisiológicos (Rizo, 2010; Martínez y Roca, 2011).

De la misma manera, los invernaderos presentaron valores superiores a 1-2 kPa, lo que significaría problemas de adherencia de polen al estigma de la flor (Beluzán, 2013; Martínez y Roca, 2011). Cuando el DPV es superior a 2 kPa se provoca cierre estomático para evitar la pérdida de agua generando estrés hídrico, usualmente esto va asociado a altas temperaturas y una humedad relativa baja que afecta la tasa de transpiración ralentizando la fotosíntesis y disminuyendo el crecimiento de la planta (Martínez y Roca, 2011). Esto también se encuentra relacionado al hecho de que todos los invernaderos presentaron una humedad relativa menor al 60% y superior al 80%, lo que significa que se encuentran fuera del rango óptimo establecido de 60-80% (INTA, 2017), 65-75% (Siavichay, 2011), 70-80% (Vázquez, 2012). Esto implicaría que al tener una humedad relativa por debajo del óptimo se tendrían problemas de adherencia del polen, mientras que una humedad relativa superior al 80% originaría agrietamiento del fruto, desarrollo de enfermedades fúngicas, limitaría la evapotranspiración, e induciría desórdenes fisiológicos en la planta (INTA, 2017), lo que se ve reflejado en los invernaderos que presentaron la menor humedad relativa, el menor número y diámetro de frutos y menor altura de plantas. Además se debe tomar en cuenta que una humedad relativa baja está relacionada a deltas de temperatura superiores a 8°C y temperaturas más altas, mientras que por el contrario una humedad relativa alta se relaciona a deltas de temperatura inferiores a 2°C (Seedmech, s. f.).

Respecto a las variedades de tomate cultivadas dentro de los invernaderos, se encontraron seis cultivares de crecimiento indeterminado: Toivo, Sheila, Isaac, Micaela, Daniela y Pietro; de las cuales, en cuatro de los seis invernaderos estudiados, se tuvo la presencia de la variedad Toivo. De acuerdo a sus fichas técnicas, todos estos cultivares producen frutos de características similares con pesos que varían entre 180 g y 280 g (Bejo, 2019; Agroverde,



s. f.; Imporalaska, s. f.; Barrera, 2015). Según los resultados obtenidos, no se evidencian diferencias significativas en relación a las variables fisiológicas entre variedades entre invernaderos, existiendo una diferencia de 0,97 m entre el mayor y menor promedio de altura de plantas; 1,9 cm entre el mayor y menor promedio del diámetro de fruto y 0,53 cm entre el mayor y menor promedio del diámetro de tallo. Por otro lado, la diferencia entre los diámetros del fruto de las diferentes variedades no es significativa, con esto se podría pensar que la altura o diámetro de tallo de la planta no influenciaron de manera importante en el desarrollo del fruto.



CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Todos los invernaderos, presentaron una estructura tipo capilla en sus diferentes variaciones: doble capilla, multicapilla y de techos planos a dos aguas.

Para las variables fisiológicas: altura de la planta, diámetro de fruto y diámetro del tallo, no se encontraron efectos significativos con respecto a la temperatura por lo que no se tiene evidencia que permita concluir que exista un efecto de la temperatura sobre estas variables, sin embargo, para la variable número de frutos sí se obtuvo significancia con respecto a la temperatura máxima, lo que indica que a mayor temperatura se tiene un menor número de frutos.

Para las variables de diseño de los invernaderos: área, porcentaje de área de ventanas, ubicación expresada en azimut, y volumen, no se encontraron efectos significativos con respecto a la temperatura por lo que no se tiene evidencia que permita concluir que exista un efecto de estas variables sobre la temperatura. Sin embargo, para la altitud, la relación con la temperatura máxima y media mostró significancia, indicando que a mayor altitud se tiene temperaturas más bajas, de la misma manera, para la altura a la cenital y volumen unitario, la relación con la temperatura mínima fue significativa, señalando que, a mayor altura a la cenital, se obtiene una menor temperatura mínima dentro del invernadero.

Los resultados obtenidos indican que, en el exterior de los invernaderos, la temperatura se encuentra principalmente por debajo del rango óptimo, es decir, que se tienen temperaturas más frías, mientras que en el interior del invernadero existe un incremento del porcentaje de tiempo en que las plantas se encuentran por encima del rango óptimo, es decir, que se tiene un aumento de temperaturas altas, lo que señala que los invernaderos estudiados no se encuentran optimizados debido a que no se corrigen los rangos de bajas y altas temperaturas y no se incrementa el rango óptimo en el que las plantas deberían encontrarse dentro de los invernaderos por lo que no se aprovecha el uso de estas estructuras debido a que la diferencia entre la temperatura interior y exterior durante la noche es de apenas 1°C y durante el día las temperaturas máximas por encima del óptimo se encuentran dentro de los invernaderos.

De acuerdo a esta investigación, se puede observar que los invernaderos a mayor altitud tienden a tener mejor producción y un mejor microclima para el desarrollo del cultivo de tomate, debido a que los invernaderos que se encontraron a mayor altitud, presentaron el mayor número de frutos, mayor altura de la planta y mayor diámetro del tallo.



Finalmente, se sugiere continuar con esta línea de investigación, aumentando el número de invernaderos estudiados y ampliarlo a otros cantones de la provincia del Azuay, para obtener una mejor caracterización del funcionamiento de estas infraestructuras dentro de la provincia, además de realizar un análisis multivariado y evaluar las correlaciones entre diferentes variables fisiológicas, microclimáticas y de diseño de invernaderos, e incluir otras variables como la renovación del aire, eficiencia de la ventilación natural, profundizando en cómo el manejo de la apertura y cierre de ventanas puede afectar al microclima, tasa fotosintética, conductancia estomática, inclinación de los invernaderos, manejo del cultivo, tipo de suelos, fertilización, entre otras. De la misma manera, es oportuno que se pueda analizar si las diferentes variedades cultivadas influyen en la modificación del microclima dentro de los invernaderos. Asimismo, profundizar los estudios respecto al funcionamiento y eficiencia de invernaderos construidos en pendiente y realizar estudios para mitigar o reducir la erosión de su construcción en pendientes pronunciadas.



REFERENCIAS

- Agroverde. (s. f.). *Daniela HA-144* [Comercial]. Agroverde Soluciones para el Agro. Recuperado 30 de octubre de 2020, de <https://www.agroverde.com.ec/semillas-de-alta-genetica/tomates/daniela-ha-144.html>
- Arellano, M., Valera, D., Urrestarazu, M., Quezada, M., Murguía, J., y Alejandro, Z. (2011). *Ventilación natural y forzada de invernaderos tipo Almería y su relación con el rendimiento de tomate*. *Terra Latinoamericana*, 29, 379-386.
- Ausay, C. (2015). Respuesta de tomate riñón (*Lycopersicum esculentum* Mill) Cv Dominic bajo invernadero a dos relaciones Nitrato/Amonio [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4264/3/13T0808%20.pdf>
- Barrera, J. M. (2015). *Evaluación de cuatro programas de fertilización foliar complementaria en la producción de tomate riñón (*Solanum lycopersicum*) L. var. Sheila bajo invernadero, 2015* [Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7781/1/T-UCE-0004-57.pdf>
- Bejo. (2019). *Toivo* [Comercial]. Bejo Corporate. <https://www.bejo.com/tomato/toivo-conventional>
- Beluzán, F. (2013). *Déficit de presión de vapor (DPV) y factores mircoclimáticos como herramientas de pronóstico de *Botrytis cinerea* Pers. Ex Fr., en *Lactuca sativa* L. bajo invernadero* [Tesis de Maestría, Universidad Austral de Chile]. PDF.
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/egb453d/doc/egb453d.pdf>
- Bermeo, H. (2013). Proyecto: *Dipecho VII «Implementación de la metodología de análisis de vulnerabilidades a nivel cantonal»- Paute.*
<http://dspace.cedia.org.ec/bitstream/123456789/855/1/Perfil%20territorial%20PAUTE.pdf>



Bouchet, E. R., Freyre, C., Bouzo, C., y Favaro, J. (2007). *Efecto de las dimensiones de un invernadero sobre la temperatura interna en períodos cálidos.* 11(2): 111-119, Revista Científica Agropecuaria, 9.

CANNA. (s. f.). *Influencia de la temperatura ambiental en las plantas* | CANNA España [Informativa]. CANNA. Recuperado 14 de agosto de 2020, de http://www.canna.es/influencia_temperatura_ambiental_en_las_plantas

Cardona, A. (2018). *Antioquia y Norte de Santander son los departamentos líderes en la producción de tomate* [Informativa]. Agronegocios. <https://www.agronegocios.co/agricultura/cuales-son-las-regiones-que-mas-producen-tomate-2728689>

CENTA. (2018). *Guía Técnica del Cultivo de Tomate (*Lycopersicum esculentum*)*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal «Enrique Álvarez Córdova». http://centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Centa_Tomate%202019.pdf

Critten, D. L., y Bailey, B. J. (2002). Una revisión de los desarrollos de ingeniería de invernaderos durante el año 1990s. *Meteorología Agrícola y Forestal*, 112(1), 1-22. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(02\)00057-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00057-6)

Elitech. (2016). *Registrador de datos de temperatura y humedad PDF RC-51H - Elitech* [Informativa]. Elitech. <http://www.elitechlog.com/rc-51h-pdf-temperaturehumidity-data-logger/#tabs-2>

Escamirosa, C., Guzmán, D., y Langlé, L. (2017). Efecto del déficit de presión de vapor en el crecimiento de plantas de *Agave potatorum* Zucc. Bajo ambiente controlado y en campo. *Universidad y Ciencia*, 6(0), 18-26.

FAO. (2005). *Estructuras, materiales y equipos de producción*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/005/s8630s/s8630s02.pdf>



FAO. (2006). *Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

<http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>

Francescangeli, N., y Mitidieri, M. *El invernadero hortícola. Estructura y manejo de cultivos*

(2da. Ed.). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

https://www.researchgate.net/profile/Nora_Francescangeli2/publication/301687884_E_I_Invernadero_Horticola/links/57221d5108ae586b21d3d3ec/El-Invernadero-Horticola.pdf

GAD Guachapala. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial-Cantón Guachapala*.

Gobierno Autónomo Descentralizado de Guachapala.

<https://odsterritorioecuador.ec/wp-content/uploads/2019/04/PDOT-CANTON-GUACHAPALA-2014-2027.pdf>

Gassó, F., y Solomando, S. (2011). *Estructura e instalaciones de un invernadero* [Tesis de

Grado, Universidad Politécnica de Catalunya].

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11369/Mem%C3%B2ria.pdf>

Guevara, T., y Estrella, N. (2008). *Determinación y caracterización de enfermedades*

*bacterianas del tomate riñón (*Lycopersicon sculentum*), cultivado bajo invernadero en*

doce áreas de la cordillera central del Ecuador [Tesis de Grado, Escuela Politécnica

del Ejército]. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/2556/T-ESPE-IASA%20I-003808.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Guiñanzaca, M. J., y Merchán, C. P. (2015). *Análisis de las características organolépticas del*

tomate riñón cultivado en la provincia del Azuay y su aplicación gastronómica [Tesis

de Grado, Universidad de Cuenca].

<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23407/1/tesis.pdf>

IEP. (2017). *Invernaderos tipo Parral («Almería»)* [Informativa].

<http://www.inverelpilar.com/es/invernaderos/invernaderos-parral>



- Iglesias, N. (2015). *Estudios referidos a aspectos de ecofisiología de la producción forzada para las condiciones del norte de la Patagonia*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_tomate-en-invernadero_ecofisiologia-de-la-produc.pdf
- Imporalaska. (s. f.). *Tomates [Comercial]*. Alaska S.A. Importadora. Recuperado 29 de octubre de 2020, de <http://www.imporalaska.com/tomates>
- INIA. (2017). *Manual de cultivo del Tomate bajo Invernadero*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/12%20Manual%20de%20Tomate%20Invernadero.pdf>
- INTA. (2017). *Manual Técnico del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*)*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>
- Jaramillo, Jorge, Rodríguez, V., Guzmán, M., Zapata, M., y Rengifo, T. (2007). *Manual Técnico Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas* (Primera edición). CTP Print Ltda. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13469/43123_50544.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Jaramillo, Juan. (2015). *Evaluación agronómica del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) bajo tres diferentes coberturas plásticas* [Tesis de Grado, universidad San Francisco de Quito]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5339/1/122917.pdf>
- Jarrín, G. (2014). Efecto de la aplicación foliar complementaria y la profundidad de aplicación del fertiriego en dos variedades de tomate riñón (*Lycopersicum esculentum* mill). Tumbaco, Pichincha. [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2493/1/T-UCE-0004-60.pdf>



- López, L. (2017). *Manual Técnico del Cultivo de tomate Solanum lycopersicum*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria.
<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>
- Marín, M. (2013). *Diseño de Invernaderos. Instrucciones Técnicas*. Marín y Asociados.
<https://marinponsasociados.com/PDFINDUSTRIA/disenoinvernaderos.pdf>
- Martínez, P., y Roca, D. (2011). El control del clima de los invernaderos de plástico. Un enfoque actualizado. En *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (Primera edición, pp. 179-245). Universidad Nacional de Colombia.
https://www.researchgate.net/profile/Dolors_Roca/publication/237100819_El_control_del_clima_de_los_invernaderos_de_plastico_Un_enfoque_actualizado/links/02e7e51b86767b65d1000000/EI-control-del-clima-de-los-invernaderos-de-plastico-Un-enfoque-actualizado.pdf
- Medina, M., y Lardizabal, R. (2011). *Manual de Producción—Construcción de invernadero de bajo costo*.
http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/292/Acceso_Manual_Produccion_Construccion_Invernaderos_40_11.pdf?sequence=1
- Miserendino, E., y Astorquiza, R. (2014). *Invernaderos: Aspectos básicos sobre estructura, construcción y condiciones ambientales*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/scripttmp-inta_agricultura23_invernadero.pdf
- NOVAGRIC. (2016). *Invernaderos Multitúnel Capilla—Multicapilla* [Informativa-Comercial]. NOVAGRIC. <https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/invernadero-capilla>
- Pinchao, O. (2019). “Identificación de los daños causados por Botrytris en el cultivo de tomate de riñón (*Lycopersicum esculentum* Mill), bajo invernadero, en la Comunidad San José, Cantón Pimampiro, provincia de Imbabura” [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Babahoyo].



- Ramos, J. (2011). *Consejos prácticos para invertir en invernaderos*. Grupo Editorial Edgar Torres Garrido.
http://www.aarfs.com.mx/imagenes/informacion/estudios/014_Consejos_practicos_pra_invertir_invernaderos.pdf
- Rizo, E. (2010). Utiliza el Déficit de Presión del Vapor en invernadero [Informativa]. *Hortalizas*.
<https://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/invernadero/utiliza-el-deficit-de-presion-del-vapor-en-invernadero/>
- Seedmech. (s. f.). *Déficit de Presión de Vapor* [Informativa]. SEEDMECH. Recuperado 14 de agosto de 2020, de <http://www.seedmech.com/producto/deficit-de-presion-de-vapor/>
- Shamshiri, R., Jones, J., Thorp, K., Ahmad, D., Man, H., y Taheri, S. (2018). Revisión del déficit óptimo de temperatura, humedad y presión de vapor para la evaluación y el control del microclima en el cultivo de tomate en invernadero: Una revisión. *Agrofísica Internacional*, 32(2), 287-302. <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0005>
- Siavichay, M. (2011). *Aclimatación de 10 cultivares de tomate (*Lycopersicum esculentum*) en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo* [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/690/1/13T0705%20.pdf>
- Silva, J. M. (2015). *Evaluación de cuatro programas de fertilización foliar complementaria en la producción de tomate riñón (*Solanum lycopersicum*) L. var. Sheila bajo invernadero* [Tesis de Grado]. Universidad Central del Ecuador.
- Toro, S. (2017). Evaluación de métodos de muestreo y dinámica poblacional de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) en invernaderos para tomate (*Lycopersicum esculentum*), en el Cantón Riobamba. [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/6929/1/13T0845.pdf>



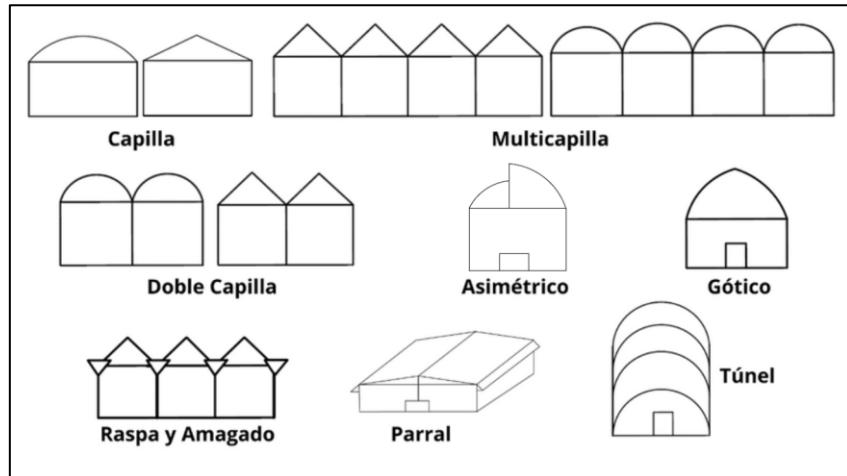
Vásquez, L. (2015). *Determinación del potencial turístico de la Parroquia Bulán, Cantón Paute, Provincia del Azuay* [Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6542/1/T-UCE-0004-015.pdf>

Vázquez, J. (2012). *Análisis del índice grado día y del índice de estrés hídrico en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero e hidroponía* [Tesis de Maestría, Centro de Investigación en Química Aplicada].
<https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/223/1/Jairo%20Vazquez%20Lee%20maestria.pdf>



ANEXOS

Anexo 1. Tipos de Invernaderos



Tipos de invernadero de acuerdo a su estructura. Realizado en AutoCAD®

**Anexo 2. Ficha técnica del Sensor Elitech RC – 51®**

Característica	Descripción
Mediciones	- Humedad - Temperatura
Rango de temperatura	-30 °C a 70 °C
Rango de humedad	10% ~ 95%
Precisión de temperatura y humedad	± 0.5 (-20 °C / + 40 °C); ± 1.0 (otro rango) ± 3% RH (25 °C , 20% ~ 90% RH), ± 5% RH (otro rango)
Resolución de temperatura y humedad	0.1 °C (Temperatura) 0.1% RH (Humedad)
Puntos de datos	32000
Intervalo de registro	15 minutos (estándar)
Duración de batería	Celda de botón de 2 años / ER14250
Opciones de registro	2s, 5s, 10s, 20s, 30s, 1min, 2min, 5min, 10min, 20min, 30min, 1hr, 2hr, 6hr, 12hr
Medidas	131mmx24mm (LxD)
Peso	60 gramos
Características	- Presenta una carcasa de PC transparente a prueba de choques e impermeable - Todos los registradores de datos de temperatura USB impermeables Elitech tienen: pantalla LCD multifunción, gran capacidad de memoria - Genera automáticamente informes de datos.
Fuente	http://www.elitechlog.com/rc-51h-pdf-temperaturehumidity-data-logger/#tabs-2

**Anexo 3. Ficha técnica de cada invernadero****FICHA TÉCNICA “INVERNADERO A”**

Ubicación	Kilómetro 10 de la vía Paute-Guachapala
Altitud	2276 m.s.n.m.
Orientación del invernadero	355° Noroeste
Tipo de invernadero	Doble capilla (dos naves)
Altura a la canal	2,20 m
Altura a la cenital	3,61 m
Abertura cenital	0,15 m
Volumen	938,6 m ³
Área	260,0 m ²
% de área de ventanas	28,50 %
Nº de Cenitales	8
Años de construcción	7 años
Materiales de construcción	Plástico térmico, madera, tubos de hierro galvanizado, malla sarán
INFORMACIÓN DE CULTIVO	
Variedad	Micaela
Número de ejes	2
Marco de siembra	0,20 m entre plantas x 1,20 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

FICHA TÉCNICA “INVERNADERO B”

Ubicación	Centro de Guachapala, Vía Monjas-Sixto Durán Ballén
Altitud	2317 m.s.n.m.
Orientación	314° Noroeste
Tipo de invernadero	Multicapilla (4 naves)
Altura a la canal	2,62 m
Altura a la cenital	5,45 m
Abertura cenital	0,65 m
Volumen	8096,25 m ³
Área	1485,55 m ²
% de área de ventanas	15,73%
Nº de Cenitales	40
Años de construcción	13
Materiales de construcción	Tubos de hierro galvanizado, malla sarán, madera, plástico Ginegar térmico
INFORMACIÓN DE CULTIVO	
Variedad	Pietro, Toivo, Isaac,
Número de ejes	1
Marco de siembra	0,20 m entre plantas x 1,20 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo



FICHA TÉCNICA INVERNADERO C

Ubicación	Sacaré bajo-Guachapala
Altitud	2246 m.s.n.m
Orientación	234° Suroeste
Tipo de invernadero	Multicapilla (12 naves)
Altura a la canal	2,52 m
Altura a la cenital	4,97 m
Abertura cenital	0,45 m
Volumen	14440,34 m ³
Área	2905,50 m ²
% de área de ventanas	19,66%
Nº de Cenitales	132
Años de construcción	6 años
Materiales de construcción	Madera, plástico térmico, tubos de hierro galvanizado, malla sarán
INFORMACIÓN DE CULTIVO	
Variedad	Sheila
Número de ejes	1
Marco de siembra	0,20 m entre plantas x 1,50 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

FICHA TÉCNICA INVERNADERO D

Ubicación	Vía Paute – Guachapala
Altitud	2228 m.s.n.m.
Orientación	50° Noreste
Tipo de invernadero	Multicapilla (3 naves)
Altura a la canal	2,42 m
Altura a la cenital	4,17 m
Abertura cenital	0,60 m
Volumen	7779,80 m ³
Área	1865,66 m ²
% de área de ventanas	23,65%
Nº Cenitales	54
Años de construcción	5 años
Materiales de construcción	Plástico térmico, madera, tubos de hierro galvanizado, malla antiáfidos
INFORMACIÓN DE CULTIVO	
Variedad	Toivo
Número de ejes	1
Marco de siembra	Hileras dobles: 0,20 m entre plantas x 0,6 m entre hileras x 1,6 entre calles
Sistema de riego	Por goteo



FICHA TÉCNICA INVERNADERO E

Ubicación	Shaushin-Guachapala
Altitud	2517 m.s.n.m.
Orientación	229° Noroeste
Tipo de invernadero	Multicapilla de techos planos simétricos a dos aguas (4 naves)
Altura a la canal	2,60 m
Altura a la cenital	4,30 m
Abertura cenital	0,45 m
Volumen	4695,6 m ³
Área	1092 m ²
% de área de ventanas	13,86%
Nº Cenitales	28
Años de construcción	11 años
Materiales de construcción	Plástico térmico, madera, malla sarán
INFORMACIÓN DE CULTIVO	
Variedad	Toivo y Daniela
Número de ejes	1
Marco de siembra	0,20 m entre plantas x 1,1 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

FICHA TÉCNICA INVERNADERO F

Ubicación	Zhuyurloma-Paute
Altitud	2465 m.s.n.m.
Orientación	252° Suroeste
Tipo de invernadero	Multicapilla (3 naves)
Altura a la canal	2,24 m
Altura a la cenital	4,90 m
Abertura cenital	0,50 m
Volumen	3616,20 m ³
Área	738 m ²
% de área de ventanas	9,38%
Nº Cenitales	18
Años de construcción	1 año
Materiales de construcción	Plástico térmico, madera, tubos de hierro galvanizado, malla saran
INFORMACIÓN DE CULTIVO	
Variedad	Toivo
Número de ejes	1
Marco de siembra	0,25 m entre plantas x 1,4 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

Anexo 4. Registro fotográfico del trabajo en campo

Instalación de sensores, **24A**: Sensores Elitech RC-51 ensamblados en las estaciones de madera; **24B**: carcasa anti radiación solar + sensor Elitech RC-51 ensamblada e instalada al interior del invernadero; **24C**: carcasa anti radiación solar + sensor Elitech RC-51 ensamblada e instalada al exterior del invernadero



Medición de variables fisiológicas. **25A**: medición con el calibrador del diámetro del tallo. **25B**: medición del diámetro del fruto con el calibrador. **25C**: medición de la altura de la planta con el flexómetro.



Medición de invernaderos. **26A:** medición de la abertura de la cenital con un metro plegable de madera. **26B:** medición de la altura del invernadero con un metro plegable de madera