

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

Caracterización de variables microclimáticas e invernaderos en los cantones Nabón, Santa Isabel y Chordeleg, y su relación con el desarrollo de cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

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

Autor:

Luis Fernando Chuquimarca Arias

Paúl Santiago Naranjo Cisneros

Director:

Eduardo José Chica Martínez

ORCID:  0000-0001-6072-2142

Cuenca, Ecuador

2023-03-23

Resumen

La producción de tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*) en los cantones de Chordeleg, Nabón y Santa Isabel de la provincia del Azuay se ha extendido progresivamente utilizando estructuras bajo cubierta, sin embargo, existe escaso conocimiento en cuanto a la relación del microclima y el diseño de invernaderos con la productividad del cultivo. En el siguiente estudio se caracterizaron variables microclimáticas y de diseño de trece invernaderos y se estudió su relación con las variables fisiológicas del tomate de mesa en etapa reproductiva. En primer lugar, se registró la temperatura y humedad relativa dentro y fuera de cada estructura por una semana, luego se midieron variables fisiológicas (altura de planta, diámetro de tallos y frutos), de igual forma se midió y se describió cada estructura. Se analizaron las correlaciones de las variables microclimáticas y de diseño con las variables fisiológicas. Se determinó que los invernaderos ubicados en las zonas más altas presentan mayor producción de tomate en comparación con los ubicados a menor altitud. La altura y el volumen de los invernaderos influyeron en la temperatura, destacando su disminución a medida que aumentan estas dos variables. Se encontró que, de manera general, las estructuras no se encuentran correctamente optimizadas, existiendo un mayor intervalo de tiempo en el cual las estructuras se encuentran fuera del rango óptimo de temperatura para su producción si lo comparamos con su exterior, de igual forma las demás variables microclimáticas presentan inestabilidad en sus valores, aun así, se observa un buen rendimiento en estructuras que presentan estas características.

Palabras clave: correlaciones, microclimáticas, fisiológicas, diseño, temperatura

Abstract

Tomato production (*Solanum lycopersicum*) in the cantons of Chordeleg, Santa Isabel and Nabón of the province of Azuay has been progressively extended, using under cover structures, however there is little knowledge regarding the relationship between the microclimate and the design of greenhouses with productivity of the crop. In the following study, microclimatic and design variables of thirteen greenhouses and their relationship with the physiological variables of tomato in the reproductive stage were characterized. First, temperature and relative humidity outside and inside were recorded for a week, next the physiological variables (plant height, diameter of stems and fruits) were measured, in the same way, each structure was measured and described. The correlations of the microclimatic variables with the physiological variables were analyzed. It was determined that the greenhouses located in highest areas had higher tomato production compared to those located at lower altitudes. The height and volume of the greenhouses influenced the temperature, highlighting its decrease as these two variables increase. It was found that, in general, the structures are not correctly optimized since there is a greater time interval in which the structures are outside the optimal temperature range for tomato production, if we compare it with their exterior temperature. In the same way, the other microclimatic variables present instability in their values, even so, a good performance is observed in structures that present these characteristics.

Keywords: correlations, microclimatics, physiological, design, production, temperature

Índice de contenido

Introducción	12
Objetivos.....	14
2.1. Objetivo General.....	14
2.2. Objetivos Específicos.....	14
Revisión bibliográfica	14
3.1. Cultivo de tomate en el Ecuador	14
3.1.1. Requerimientos climáticos	14
3.1.2. Etapa reproductiva del tomate	15
3.1.3. Variedades del tomate	16
3.2. Diseño de un invernadero	17
3.3. Uso de Casa Malla.....	19
3.4. Relación entre del microclima y el diseño de invernaderos sobre el desarrollo de tomate y otros cultivos	19
Materiales y métodos.....	21
4.1. Área de estudio.....	21
4.2. Materiales	25
4.3. Métodos.....	25
4.3.1. Metodología para la investigación experimental del objetivo 1. “Relacionar variables microclimáticas y de diseño de los invernaderos con variables fisiológicas indicadoras del desarrollo del cultivo de tomate”	25
4.3.1.4. Análisis de correlación entre variables microclimáticas con variables fisiológicas y de diseño de invernaderos.....	27
4.3.2. Metodología para la investigación experimental del objetivo 2. “Describir los cambios diarios en temperatura, humedad y déficit de presión de vapor de los invernaderos evaluados y su favorabilidad para el desarrollo del cultivo de tomate”	27
Resultados.....	28
5.1. Correlación entre temperatura y variables fisiológicas	28
5.1.2. Relación entre la altura de la planta, diámetro del fruto y diámetro del tallo con la temperatura máxima, mínima, media y delta T	28
5.1.3. Relación entre el número de frutos con la temperatura máxima, mínima, media y delta T	31
5.2. Aptitud microclimática para el desarrollo del cultivo de tomate.....	33

5.2.2. Temperatura	33
5.2.3. Humedad relativa	35
5.2.4. Déficit de Presión de Vapor (DPV)	35
5.3. Correlación entre temperatura y variables de diseño de invernaderos	39
5.3.2. Esquematización de invernaderos	39
5.3.3. Relación entre la altura a la cenital, área, porcentaje de área de ventanas, volumen unitario y azimut con la temperatura máxima, mínima, media y delta T	52
5.3.4. Relación entre la altitud, volumen y pendiente con la temperatura máxima, mínima, media y delta T	58
5.4. Casa Malla	62
Discusión	65
Conclusiones	70
Recomendaciones	71
Referencias	72
Anexos	77

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de los cantones de Santa Isabel, Nabón y Chordeleg.	21
Figura 2. Mapa de ubicación de los invernaderos en el cantón Santa Isabel. Las estructuras E, F se encuentran ubicados en la parroquia Dandan, el invernadero I en la parroquia Minas de Shurupi y los invernaderos G, H, y la casa malla en Peña Blanca, sector de El Ramal.	22
Figura 3. Mapa de ubicación de los invernaderos en el cantón Nabón. El invernadero C se encuentra en la parroquia Cochapata, el invernadero D en la parroquia de Las Nieves y los invernaderos A, B se encuentran en el sector de la vía a la parroquia Buravalle.	23
Figura 4. Mapa de ubicación de los invernaderos en el cantón Chordeleg. Todos los invernaderos (J, K, L y M) se encuentran en la parroquia Principal.....	24
Figura 5. Correlación entre la altura de plantas y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.	29
Figura 6. Correlación entre el diámetro de frutos y el delta de temperatura(a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.	30
Figura 7. Correlación entre el diámetro del tallo y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.	31
Figura 8. Correlación entre el número de frutos y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.	32
Figura 9. Fracción de tiempo en el cual los invernaderos se encuentran bajo, sobre y dentro del rango óptimo de temperatura en el exterior e interior del invernadero.....	34
Figura 10. Evolución de la temperatura en el interior y exterior de los invernaderos.	36
Figura 11. Evolución de la humedad relativa en el interior y exterior de los invernaderos.	37
Figura 12. Evolución del DPV en el interior y exterior de los invernaderos.....	38
Figura 13. Esquema del Invernadero A a escala 1:250.....	39

Figura 14. Esquema del Invernadero B a escala 1:250.....	40
Figura 15. Esquema del Invernadero C a escala 1:200.....	41
Figura 16. Esquema del Invernadero D a escala 1:550.....	42
Figura 17. Esquema del Invernadero E a escala 1:250.....	43
Figura 18. Esquema del Invernadero F a escala 1:550.....	44
Figura 19. Esquema del Invernadero G a escala 1:550.....	45
Figura 20. Esquema del Invernadero H a escala 1:500.....	46
Figura 21. Esquema del Invernadero I a escala 1:450.....	47
Figura 22. Esquema del Invernadero J a escala 1:550.....	48
Figura 23. Esquema del Invernadero K a escala 1:500.....	49
Figura 24. Esquema del Invernadero L a escala 1:450.....	50
Figura 25. Esquema del Invernadero M a escala 1:400.....	51
Figura 26. Correlación entre la altura a la cenital y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.....	53
Figura 27. Correlación entre el área del invernadero y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.....	54
Figura 28. Correlación entre el área de ventanas y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.....	55
Figura 29. Correlación entre el volumen unitario y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.....	56
Figura 30. Correlación entre el Azimut y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.....	57

Figura 31. Correlación entre la altitud y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia. 59

Figura 32. Correlación entre el volumen y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia. 60

Figura 33. Correlación entre la pendiente y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia. 61

Figura 34. Evolución de la temperatura en el interior y exterior de la casa malla. 62

Figura 35. Evolución de la humedad relativa en el interior y exterior de la casa malla. 63

Figura 36. Evolución del DPV en el interior y exterior de la casa malla. 64

Figura 37. Esquema de la casa malla a escala 1:200. 65

Índice de tablas

Tabla 1. Materiales usados en el desarrollo de la investigación.....	25
Tabla 2. Relaciones determinadas entre variables fisiológicas, microclimáticas y de diseño.	27
Tabla 3. Valores de temperatura y variables fisiológicas registradas en los trece invernaderos.....	28
Tabla 4. Porcentaje de tiempo bajo, sobre y dentro del rango óptimo de temperatura para el desarrollo del cultivo de tomate en el exterior e interior del invernadero.	33
Tabla 5. Valores de las variables de diseño registradas en los trece invernaderos.....	52
Tabla 6. Valores de las variables fisiológicas registradas en la casa malla.....	62
Tabla 7. Valores de las variables de diseño registradas en la casa malla.....	64

Agradecimientos

Queremos agradecer a nuestra Universidad de Cuenca, la cual nos ha preparado académicamente durante nuestra estancia.

A nuestros docentes, los cuales no solo nos compartieron sus conocimientos, sino también su valores, los cuales nos permitieron crecer más como futuros profesionales. De manera especial queremos agradecer a nuestro director. Ing. Eduardo Chica, quien, con su guía y su apoyo, logramos concluir exitosamente este trabajo.

Agradecemos a Adrián Chucuri y Yamileth Patiño, quienes de manera desinteresada nos brindaron su ayuda durante el desarrollo de nuestro proyecto.

Por último, pero no menos importante agradecemos a los diferentes productores del cultivo de tomate: Ángel Rivera, Bolívar Morocho, Carmen Quezada, Hugo Mendieta, José Arias, Luis Yunga, Tarcilo Castro, Tito Duran y Vicente Aguilar. Sin su ayuda y confianza, este trabajo no hubiera sido posible.

Dedicatorias

A mi madre, Sandra mi sostén en esta vida, quien nunca me dejó de apoyar en las buenas y en las malas y siempre mantuvo su fe en mí. A mi abuela, Beatriz por contar con su apoyo y darme ánimos todos los días. A mi compañero de Tesis, Luis quien estuvo conmigo en momentos de dificultad. A mi abuelo, Guillermo Cisneros, a quien quiero y extraño mucho y sé que le hubiera gustado mucho estar a mi lado en la graduación.

Paul Santiago Naranjo Cisneros

Este nuevo logro obtenido se lo dedico a todas las personas que estuvieron apoyándome durante este largo camino. A mi madre Rosa y a mi padre Jairo que me han formado con buenos valores, su sacrificio y esfuerzo me enseñaron a nunca rendirme. Especialmente a mi hermano Vicente (QEPD) que con su incondicional apoyo siempre confió en que lograría cada una de las metas que me propusiera, donde sea que el este observándome sé que estará muy orgulloso de mí. A mis hermanos Bayron y Cristian, mi compañero de tesis Paul Naranjo, y a los demás familiares y amistades que siempre estuvieron con sus palabras de aliento y soporte para que pueda culminar mis estudios.

Luis Fernando Chuquimarca Arias

Introducción

El uso de invernaderos para la producción vegetal se ha intensificado con el paso del tiempo por las ventajas que ofrece su uso, como el establecimiento de microclimas óptimos en su interior. Esta mejora de las condiciones microclimáticas en un invernadero, potencialmente permite aumentar los rendimientos y acortar el ciclo de desarrollo del cultivo hasta la cosecha. Adicionalmente, esto también permite proteger al cultivo de factores climáticos perjudiciales, así como reducir la incidencia de plagas y enfermedades, contribuyendo al manejo integrado de plagas, reduciendo pérdidas y costos de producción (Caiza y Camuendo, 2011).

El tomate de mesa, es uno de los cultivos más producidos a nivel nacional, donde provincias como Azuay, Loja, Guayas y Carchi, concentran la mayor parte de la producción, debido a la implementación de invernaderos (MAG, 2017). Varela (2018) explica que, actualmente el rendimiento de esta hortaliza en Ecuador varía entre las 20 a 30 t/ha, encontrándose por debajo de países vecinos como Colombia (47 t/ha) o Perú (46 t/ha) según la FAO (2018), a pesar de la similitud en cuanto condiciones ambientales.

La tecnología enfocada hacia la agricultura en Ecuador no ha sido explotada de manera adecuada, siendo esta una de las causas de la baja producción de alimentos (MAGAP, 2010). Uno de los inconvenientes que tiene el país es la falta de optimización del uso de los invernaderos, cuyo manejo inadecuado puede generar microclimas perjudiciales para el desarrollo de los cultivos. A su vez, este problema conlleva a pérdidas de recursos y tiempo invertido por los productores (Gomez y Quichimbo, 2019; Haro et al., 2018).

En la actualidad existen estudios sobre el microclima de los invernaderos, enfocados en aspectos como la tasa fotosintética, humedad relativa o intercambio de gases en cultivos tropicales (Jaimez et al., 2005). Hoy en día, incluso se puede contar con información similar de estas variables (transpiración, fotosíntesis) para el cultivo de tomate de mesa, (Murillo et al., 2005) el cual es muy producido en la región. En cuanto estudios a nivel nacional, se ha puesto mayor énfasis a temas como: la influencia de los diferentes tipos de materiales de cubierta con la producción, mejoramiento de rendimientos o protección contra plagas y enfermedades en cultivos de tomate de mesa (Guevara y Estrella, 2008).

Investigaciones sobre la correlación de la geometría y elementos de los invernaderos con el funcionamiento de variables microclimáticas son escasas, o están empezando en la zona

Austral, de aquí la conveniencia de su estudio e importancia para su continuación (Arellano et al. 2006). Campoverde (2021) encontró relaciones entre características de diseño con variables fisiológicas y reportó microclimas no desfavorables para el desarrollo del cultivo. No obstante, el trabajo de Campoverde se concentró sólo en invernaderos de los cantones Paute y Guachapala, quedando pendiente la validación de estas observaciones en invernaderos ubicados en otras zonas de la provincia. Además, el análisis sobre el efecto de las variables que influyen en el microclima de los invernaderos (temperatura, humedad relativa y déficit de presión de vapor) sobre variables fisiológicas del cultivo (altura, diámetro y número de frutos y grosor del tallo), tienen vital importancia, puesto que de esta forma podremos analizar el rendimiento y calidad general del cultivo y su producción (Groenewegen, 2002; Santiago et al., 1998).

En este contexto, el presente estudio resulta importante para conocer el estado de funcionamiento de los invernaderos en los cantones de Nabón, Santa Isabel y Chordeleg, pertenecientes a la provincia del Azuay que contiene 86 ha dedicadas al cultivo de tomate bajo invernadero (Salazar et al, 2017). Además, la siguiente investigación tiene como propósito adicional, complementar datos y resultados obtenidos previamente por Campoverde (2021) en los cantones de Paute y Guachapala. El análisis de este estudio será de gran ayuda para caracterizar las condiciones en que se desarrolla el cultivo de tomate en los invernaderos del Azuay que posteriormente puedan informar recomendaciones para aumentar la productividad y rendimiento del cultivo del tomate, generando mayores ganancias a los agricultores. Cabe destacar el importante aporte de información que puede ser utilizada en futuros proyectos similares, impulsando la investigación científica y tecnológica.

Objetivos

2.1. Objetivo General

Caracterizar las variables microclimáticas de invernaderos y su relación con variables fisiológicas del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y características del diseño de estos invernaderos en los cantones de Nabón, Santa Isabel y Chordeleg.

2.2. Objetivos Específicos

Relacionar variables microclimáticas y de diseño de los invernaderos con variables fisiológicas indicadoras del desarrollo del cultivo de tomate.

Describir los cambios diarios en temperatura, humedad y déficit de presión de vapor de los invernaderos evaluados y su favorabilidad para el desarrollo del cultivo de tomate.

Revisión bibliográfica

3.1. Cultivo de tomate en el Ecuador

El tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*) es una planta originaria de la región andina, donde países como Perú, Chile o Ecuador son sus mayores productores a nivel regional. Al tener un rendimiento promedio global de 36 t/ha, es uno de los cultivos con mayor popularidad por su aporte nutricional (Jácome, 2018). En Ecuador, específicamente en la región de la sierra es donde se produce la mayor cantidad de este producto con un aporte nacional del 86%. Provincias como Chimborazo, Azuay, Pichincha y Carchi son los mayores exponentes en su producción, las cuales cultivan bajo invernadero, en contraste con la costa o el oriente, donde su cultivo se realiza a campo abierto (MAG, 2017).

3.1.1. Requerimientos climáticos

Generalmente el tomate de mesa puede ser cultivado desde el nivel del mar hasta los 2000 msnm, resaltando que esto depende de la capacidad que tiene la variedad o híbrido (Larín et al., 2018). No obstante, bajo invernadero se puede cultivar a alturas mayores a los 3000 msnm (Silva y Tafur, 2015).

El cultivo de tomate puede adaptarse a los cambios que existan en las condiciones climáticas y del suelo, sin embargo, su mejor desarrollo se da a temperaturas moderadas, donde el valor óptimo para su desarrollo se da entre los 18 a 25 °C, y para su correcta floración entre los 23 a 26 °C en el día y 15 a 18°C en la noche. Temperaturas diferentes a

las óptimas mencionadas pueden ocasionar daños al cultivo. Por ejemplo, temperaturas menores a 10°C durante el día ocasionan la ausencia o mala formación de las flores, mientras que a temperaturas mayores a los 35°C puede afectar la fructificación. De forma similar, las temperaturas nocturnas bajo los 10°C también generan daños en el desarrollo normal de las plantas, y pueden ocasionar malformaciones en los frutos (INIA, 2017).

En cuanto a la humedad relativa, el desarrollo óptimo del tomate requiere que este parámetro se encuentre entre el 60 al 80%, pero se debe tener en cuenta que en porcentajes superiores propician la aparición de enfermedades fúngicas y bacterianas, ocasionando el aborto de las flores. El agrietamiento de los frutos también es una señal de humedad relativa elevada, específicamente cuando se combinan períodos de estrés hídrico y humedad por exceso de riego (INIA, 2017).

El déficit de presión de vapor (DPV) es un parámetro útil para la medición del clima dentro de un invernadero, su cálculo permite conocer en gran medida las necesidades de un cultivo en cuanto al ambiente en condiciones bajo cubierta, identificando las condiciones de humedad óptimas para el desarrollo de un cultivo (Escamirosa, 2014). Un DPV alto incrementa la demanda en la transpiración, mientras que un DPV bajo indica la proximidad a llegar al punto de rocío, y la condensación puede alterar el normal desarrollo de las plantas reduciendo la transpiración y favoreciendo el desarrollo de enfermedades (Prenger y Ling, 2000). El rango óptimo de DPV para muchos cultivos va desde 0,45 a 1,25 kPa, pero en el cultivo de tomate para valores inferiores a 0,2 kPa, el polen no puede despegarse de las flores, mientras que para valores superiores a 1 kPa este no logra adherirse al estigma de la flor (Beluzan, 2013). Campoverde (2021) pudo evidenciar la influencia de estos rangos dentro de su estudio al documentar niveles tanto inferiores como superiores del rango óptimo, los cuales afectaron algunas variables como la humedad relativa, la cual finalmente incidió en la calidad de desarrollo del fruto y de la planta.

3.1.2. Etapa reproductiva del tomate

El desarrollo del tomate de mesa está determinado por la variedad y las condiciones climáticas a las cuales está sujeta, su germinación empieza a los 21 días, pasado este periodo empieza la fase vegetativa, donde el tallo puede alcanzar los 10 m de longitud durante todo su crecimiento. La siguiente etapa dará inicio a la floración, es decir, después de 50 a 55 días, esta fase indica la etapa reproductiva donde requiere de mayores cantidades de nutrientes para satisfacer las necesidades de las hojas y ramas en

crecimiento y expansión. Finalmente, el inicio de la aparición de los frutos (bayas) se da al terminar los 55 días, con pesos que van desde los 100 a 500 gramos. El total de esta etapa puede durar entre 30 a 40 días y puede mantenerse en cosecha desde los 180 hasta los 200 días después del trasplante (INIA, 2017).

3.1.3. Variedades del tomate

Pietro

Es una planta compacta de buen vigor, con entrenudos cortos, por lo general mantienen un gran calibre hasta el último racimo, posee racimos con gran cantidad de frutos, los cuales pueden variar de 5 a 7 frutos. Una de las características principales es que su fruto tiene una forma redonda pero ligeramente achatada con un cierre pistilar y peduncular pequeño, el calibre del fruto es de 230 a 250 g con un color rojo, adaptable a campo abierto y bajo invernadero. Es resistente a enfermedades como el fusarium del tomate (*Fusarium oxysporum*) o la mancha gris de la hoja (*Stemphyllium* sp.) (Imporalaska, s.f)

Sheyla

Planta compacta con entrenudos cortos con ciclos de hasta 115 días, tiene gran resistencia a ciertas plagas y enfermedades como el virus del mosaico del tomate, *Meloidogyne incognita* o *Verticillium dahliae*. Sus frutos son de color rojo intenso de aproximadamente 260 g, pueden ser conservados de buena forma en postcosecha (Sakata, s.f).

Charleston

Planta híbrida de crecimiento indeterminado, posee entrenudos cortos, puede ser cultivada a campo abierto o bajo cubierta. Los frutos tienen forma achatada con un color rojo intenso, se puede cosechar a los 90 días después de la siembra teniendo un peso de hasta 240 g y su calibre se mantiene grueso hasta los racimos superiores. Tiene resistencia a *Fusarium oxysporum*, *Verticillium* sp. y nemátodos (Imporalaska, s.f).

Elpida

Tomate híbrido vigoroso, de gran masa radicular, tiene gran capacidad de floración (hasta 12 flores por racimo). Una de las características en las que se destaca, es la de tener una gran resistencia ante los cambios de clima además de resistir varias plagas y enfermedades como; *Verticillium*, *Meloidogyne Incognita*, *M. Javanica* o al virus del mosaico del tomate. Los frutos son de aspecto firme, con un peso de hasta 260 g (BioAgro, 2020).

Kalel

Llamado Super kalel o F1 Kalel, es un tomate híbrido de gran calidad, sus frutos son rojos brillantes con un peso de 200 a 300 g los cuales tienen una duración prolongada. La planta tiene un crecimiento vigoroso, sus hojas son verdosas oscuras, tiene como características su alto rendimiento en cuanto a sus frutos y son resistentes al virus del mosaico del tomate o a bacterias como el verticillium (Agrinovaseed, s.f).

Toivo

Planta vigorosa de crecimiento indeterminado, produce frutos tipo beef con tamaños de medianos a grandes los cuales tienen pesos de 250 a 280 g. La planta tiene buena capacidad de polinización y aunque está adaptada para su siembra en condiciones bajo cubierta, se la puede sembrar bajo diferentes condiciones, además tiene resistencia a climas fríos, se puede sembrar durante todo el año y tiene un ciclo total de 85 a 90 días (Bejo, s.f).

3.2. Diseño de un invernadero

El término invernadero hace referencia a una estructura cerrada con un grado de tecnificación (mayor o menor) que dependerá de las necesidades de los productores dedicados a cultivos hortícolas, semilleros, plantas ornamentales como flores, etc. (Marin, 2013).

Para el diseño de invernaderos, es importante lograr un microclima adecuado para los cultivos, pero optimizando los costos de producción. Estas infraestructuras son determinantes para aprovechar de mejor manera los recursos durante el desarrollo vegetal. Rho et al. (2020) concluyen que las variaciones microambientales en los invernaderos ayudan contra las inclemencias del tiempo, mejorando en muchos aspectos el rendimiento de cultivos como pimiento y tomate, incluso, explican que, bajo condiciones de baja intensidad de la luz, la respuesta de las plantas es mejores a comparación del medio exterior, donde la calidad de los frutos es superior.

Varios son los factores a tener en cuenta para la selección del lugar de construcción del invernadero, entre los principales se destacan la dirección y velocidad de vientos predominantes, así como también la exposición al sol y duración del fotoperíodo, pendiente

del suelo, la accesibilidad conjuntamente con la cercanía de fuentes de agua y acceso a electricidad (Marín, 2013).

Se han determinado aspectos importantes a tener presente para la elección de un tipo de diseño de invernaderos, entre los cuales se encuentran los requerimientos y manejo del cultivo, al igual que las variables climáticas como temperatura, humedad, frecuencia e intensidad de vientos, y características mecánicas, térmicas y ópticas de los materiales de cubierta (Marín, 2013).

En cuanto a la ventilación, esta puede ser del tipo lateral o frontal, teniendo un funcionamiento automatizado o manual para su apertura. Para la cubierta de la infraestructura se puede utilizar elementos flexibles (film plástico, malla de sombreo, malla monofilamento, etc.), rígidos (PVC, policarbonato, chapa metálica, etc.) y de cristal. Para lograr una mayor iluminación se recomienda una orientación de este a oeste, aunque la misma dependerá de factores como la pendiente del predio, la dirección y velocidad de vientos dominantes, y el tipo de invernadero y la misma disposición del cultivo. El área de las ventanas es importante, especialmente con la adopción de sistemas de exclusión de insectos, por lo que se recomienda una relación entre el área de ventanas y el área del suelo mayor al 25% (Marin, 2013).

Por medio del avance de varios estudios en el tema de diseños de invernaderos, se ha llegado a la conclusión de que una altura que permita alcanzar 3 m³ por cada m² de superficie, ayuda a lograr un mejor crecimiento de cultivos como tomate y otros. Es importante establecer una separación mínima entre un invernadero y otras construcciones u obstáculos, lo cual ayudará a evitar el efecto de sombra y facilitará la entrada de aire al invernadero. La pendiente del terreno preparado no debe ser mayor a 1% (Marin, 2013).

Los elementos que conforman un invernadero son variados, existen estructuras que son establecidas con material metálico, de madera, tubos PVC o de concreto. Los materiales elegidos para su construcción están sujetos a los recursos económicos disponibles por parte del productor, pero el elemento mayormente utilizado es el hierro galvanizado. Las formas en la que pueden estar conformados los invernaderos son variables, esto dependiendo de las necesidades y los materiales que se encuentren a disposición del usuario.

Existen diferentes diseños de invernaderos, según el tipo de material y necesidad en su uso, teniendo ejemplos como los del tipo semicircular, planos o tipo parral, también se encuentran aquellos con características tipo raspa o amagado, infraestructuras asimétricas o con estilos en forma de capilla, multicapilla y doble capilla, donde estos pueden tener macro o micro túneles (Busquets y Solomando, 2011; Marín, 2013).

3.3. Uso de Casa Malla

Al igual que los invernaderos se utilizan otras estructuras para la producción agrícola, tal es el caso de la casa malla, la cual es una estructura metálica cubierta con una malla de polipropileno, teniendo el mismo objetivo de incrementar los rendimientos de los cultivos. Posee la capacidad de permitir el ingreso de agua al interior, lo cual beneficia al cultivo, además de que logra una mejor optimización de las condiciones climáticas en general y su composición ayuda a evitar la proliferación de plagas y enfermedades (Berrones et al., 2013); sin embargo, se debe tomar precauciones, debido a que insectos como *Tetranychus urticae* y *Polyphagotarsonemus latus* son capaces de atravesar la malla (Jaramillo et al., 2006). La casa-malla tiene una vida de aproximadamente 5 años, y aunque requiere de una alta inversión inicial del productor para su construcción, este puede ser amortizado en los años de vida útil de los materiales (Guerra, 2015).

3.4. Relación entre del microclima y el diseño de invernaderos sobre el desarrollo de tomate y otros cultivos

En cuanto al diseño y estructuras de invernaderos, ambos influyen en el microclima y variables fisiológicas de cultivos como su crecimiento y rendimiento, esto quiere decir que la tecnología utilizada y también el ambiente exterior, combinadas con el genotipo de las especies determinan claramente el éxito del cultivo (Abbeya y Rao, 2017; Liang et al., 2017).

Una de las variables microclimáticas esenciales que determinan el desarrollo de los cultivos (crecimiento, producción y calidad de frutos, producción de materia seca) dentro de los invernaderos es la temperatura, la cual puede ser influenciada según el tipo de infraestructura utilizada. Liang et al. (2017) realizaron un estudio sobre el efecto de diferentes cubiertas plásticas en el cultivo de albahaca, determinado su efecto en las temperaturas diarias y nocturnas. De igual forma se ha estudiado ampliamente su efecto en el crecimiento y desarrollo de las plantas de tomate (Van der Ploeg y Heuvelink, 2005), en conjunto con otras variables, la temperatura del cultivo permite estimar el déficit hídrico,

factor que determina la dosis de riego, ayudando a mantener una producción estable y rentable. La medición de características fisiológicas como la transpiración del cultivo, el flujo de savia y la fotosíntesis del cultivo nos permiten establecer parámetros óptimos de temperatura (Kittas et al., 2017).

La ubicación geográfica de los invernaderos también influye en la producción del tomate, pues el parámetro de la altitud determina de forma importante los cambios de temperatura como explica Campoverde (2021), donde encontró que los invernaderos ubicados a mayor altitud presentaron mejores condiciones microclimáticas para el desarrollo del cultivo, así como también una tendencia de mayor producción, mayor número de frutos, mayor altura de planta y un mayor diámetro de tallo.

El tipo de invernadero es determinante en la producción final, tal como en el estudio realizado por Marín et al. (2016), donde se determinó que invernaderos del tipo multitunel poseen mejor ventilación natural que del tipo Almería, teniendo como resultados mejores producciones, mostrando cómo estas modificaciones afectan al desarrollo del cultivo. La optimización también contribuye al resultado final, tal como se refleja en el estudio realizado por Campoverde (2021), donde evaluó la temperatura en 3 variaciones de invernaderos tipo capilla, concluyendo que ninguno lograba alcanzar el rango óptimo de temperatura de forma permanente para el desarrollo de tomate de mesa, recomendando la instalación y utilización de ventanas laterales las cuales ayudarían en la mezcla del aire durante el mediodía, donde ocurren las mayores temperaturas internas.

Se ha demostrado que la altura o la cantidad de tramos intervienen en el clima interno. Fatnassi et al. (2017) concluyeron que mientras las alturas de las cenitales sean mayores, se necesitará de mayor calor interno para el óptimo crecimiento de los cultivos, en cambio si la cantidad de tramos es amplia el nivel de temperatura será más homogénea, aspectos importantes que modifican el desarrollo vegetal. Las características de diseño dependen de la zona, puesto que a diferencia de Fatnassi et al. (2017), Campoverde (2021) reporta que a una menor temperatura mínima dentro del invernadero se consigue aumentando la altura de la cenital, siendo conveniente en este caso, debido a que el cultivo se encontraba por encima de la temperatura óptima la mayor parte del tiempo.

En el desarrollo de cultivos bajo cubierta intervienen factores como el déficit de presión de vapor, la radiación y la velocidad del viento (Qian et al., 2015). El estudio del DPV permite conocer el estado de las plantas en el invernadero, a través del control de la humedad

interna, ayuda al reconocimiento de riesgos por condensación, facilita la prevención de posibles enfermedades, además de principalmente caracterizar el clima (Beluzán, 2013). En estudios, se ha demostrado que un DPV alto conduce a una disminución de la tasa fotosintética neta, de esta forma alterando negativamente el rendimiento y la producción de materia seca (Anjum et al., 2011; Tucci et al. 2010). En un estudio realizado por Lu et al. (2015), sobre el efecto del control del DPV en el cultivo de tomate bajo invernadero, se demostró que al reducir dicho factor microclimático se aumentaba la biomasa media del tomate y su rendimiento en un 17 y 12 % respectivamente.

Debido a la variación de estas variables climáticas como la temperatura del aire, la humedad, el déficit de presión de vapor y la radiación solar dentro de invernaderos, han existido investigaciones relacionadas buscando su efecto en algunos aspectos fisiológicos, riego, etc. (Kittas et al., 2017).

Materiales y métodos

4.1. Área de estudio

El proyecto se realizó en 13 invernaderos y una casa malla de productores ubicados en los cantones Sana Isabel, Nabón y Chordeleg, pertenecientes a la provincia del Azuay (Figura 1).

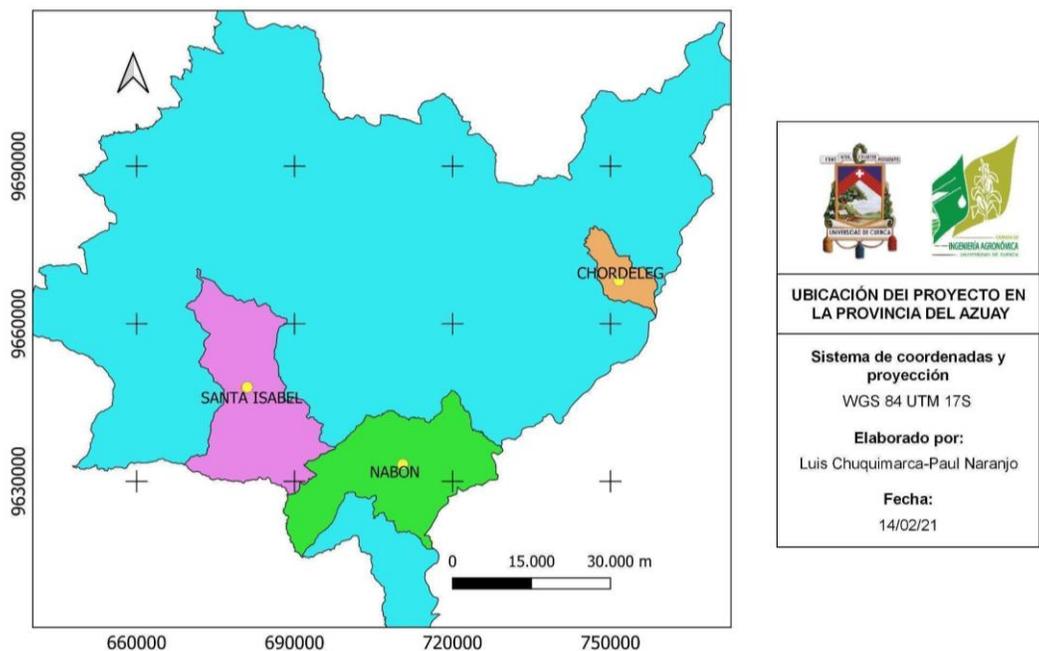


Figura 1. Mapa de ubicación de los cantones de Santa Isabel, Nabón y Chordeleg.

El cantón Santa Isabel se encuentra al sur de la provincia del Azuay, posee temperaturas que varían desde 8 a 24 °C. Presenta una altitud desde 100 hasta 4000 msnm, su clima es influenciado por las provincias colindantes de la costa. A nivel provincial este cantón posee el mayor volumen de producción en el cultivo de tomate, donde su comercialización abarca más del 90%, dejando la producción restante para el autoconsumo (Déleg y Merchán, 2015). Se puede observar que la mayor parte de los agricultores de la zona producen diferentes variedades del cultivo, donde las predominantes observadas han sido Super Kalel y Toivo. En el cantón, los invernaderos E y F están ubicados en la parroquia Dandan, mientras que el invernadero I se encuentra en la parroquia Minas de Shurupi. Los invernaderos G y H se localizan en el sector de Peña Blanca en la entrada de Santa Isabel. Adicionalmente se observó la utilización de casas malla para el cultivo de tomate en este sector, por lo cual se escogió una de estas estructuras para la respectiva toma y análisis de datos (Figura 2).

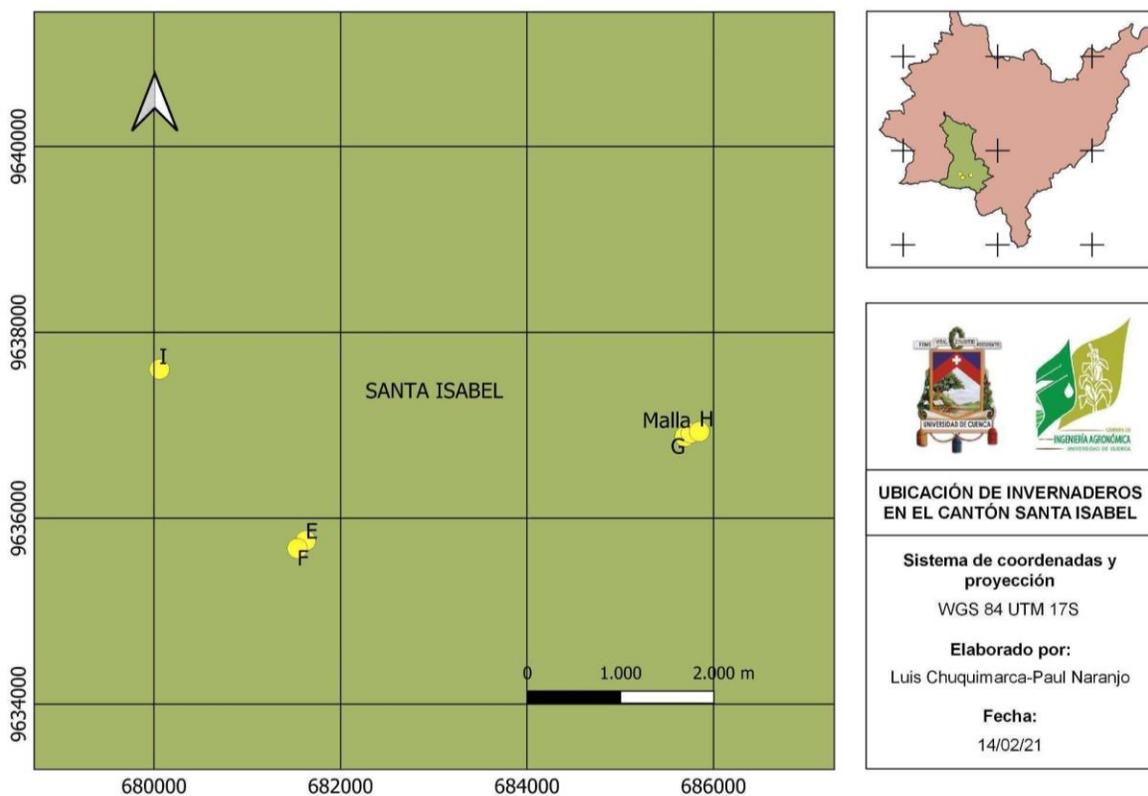


Figura 2. Mapa de ubicación de los invernaderos en el cantón Santa Isabel. Las estructuras E, F se encuentran ubicados en la parroquia Dandan, el invernadero I en la parroquia Minas de Shurupi y los invernaderos G, H, y la casa malla en Peña Blanca, sector de El Ramal.

El cantón Nabón se encuentra ubicado al sudeste de la provincia del Azuay, contando con una superficie de 668,2 km², presenta una altitud aproximada de 3000 msnm y cuenta con una temperatura promedio de 17 °C. La actividad económica principal del cantón es la producción agropecuaria, donde cultivos como el maíz, hortalizas y la crianza de animales menores son el principal sustento de sus habitantes. En los últimos años se ha impulsado la producción de cultivos orientados al mercado como el tomate de mesa bajo invernadero donde la parroquia de Cochapata es la principal comercializadora (Junta Parroquial de Cochapata, 2008). Según el PDOT de Nabón (2014), la superficie de siembra de tomate alcanza las 37 ha, alcanzando rendimientos de 4,06 t/ha, siendo un producido en las partes altas y bajas de la zona. En el cantón se ha podido identificar que la variedad Pietro es la más cultivada por los productores. En cuanto a la posición de los invernaderos del cantón, el invernadero C se encuentra en la parroquia Cochapata, sector El Rodeo, mientras que el invernadero D se ubica en la parroquia Las Nieves. El invernadero A se encuentra en la vía a Buravalle, mientras que el invernadero B se ubica en la vía a esta parroquia (Figura 3).

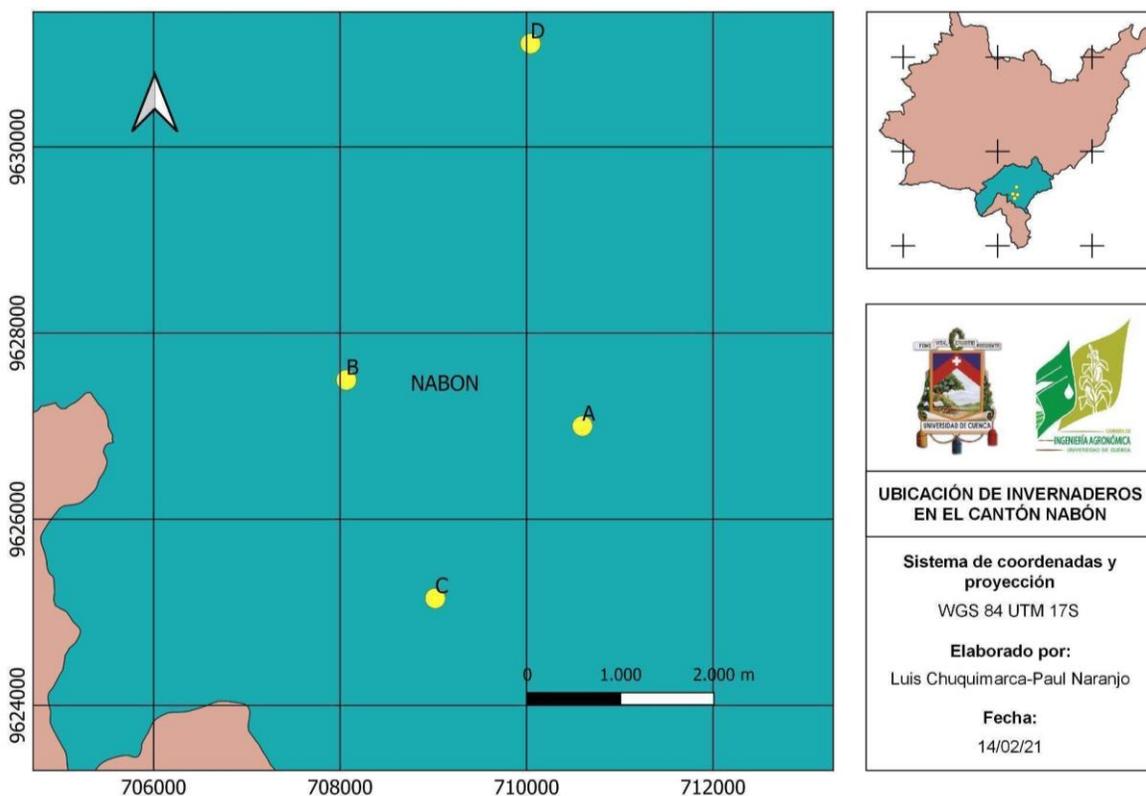


Figura 3. Mapa de ubicación de los invernaderos en el cantón Nabón. El invernadero C se encuentra en la parroquia Cochapata, el invernadero D en la parroquia de Las Nieves y los invernaderos A, B se encuentran en el sector de la vía a la parroquia Buravalle.

El cantón Chordeleg se encuentra ubicado en el sur de la provincia del Azuay, con alturas desde los 2200 msnm hasta los 3940 msnm, tiene una temperatura promedio de 16 °C. Su conformación está dada por cinco parroquias, incluyendo la zona urbana de Chordeleg, y las rurales, las cuales son: Principal, Delegsol, San Martín de Puzhio y la Unión (GAD Chordeleg). La actividad económica principal del cantón es la producción agropecuaria, ocupando alrededor de 3.736 ha en total, donde se destaca el sembrío de maíz y pastos, pero cuenta también con grandes cultivos de frutales, especialmente la manzana. En cuanto a los cultivos como hortalizas, se los realiza en menor medida en pequeñas parcelas, donde no se sobrepasan las 5 ha de superficie de siembra en el cantón, donde se encuentran productos como la arveja, cebolla o tomate de mesa. (SIGTIERRAS, 2015). En el cantón se ha podido apreciar el cultivo de la variedad Pietro según informan los habitantes del cantón. En la figura 4 se observa la localización de las infraestructuras, donde los invernaderos J, K, L y M se encuentran en la parroquia Principal.

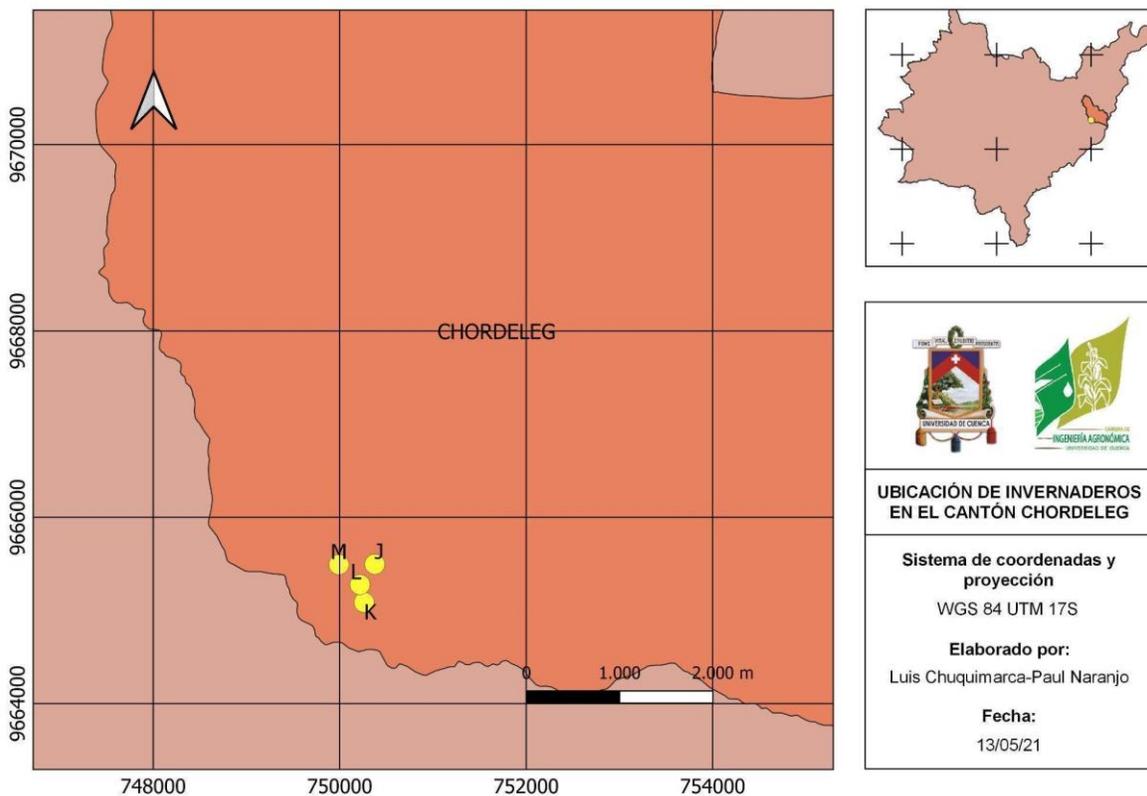


Figura 4. Mapa de ubicación de los invernaderos en el cantón Chordeleg. Todos los invernaderos (J, K, L y M) se encuentran en la parroquia Principal.

4.2. Materiales

Tabla 1. Materiales usados en el desarrollo de la investigación.

Biológicos	Físicos	Herramientas digitales
Plantas de tomate de mesa (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) en estado reproductivo	Flexómetro GPS Calibrador Cuaderno de campo Sensor Elitech RC – 51 Invernaderos	Software de análisis estadístico R Software AutoCAD Excel

4.3. Métodos

4.3.1. Metodología para la investigación experimental del objetivo 1. “Relacionar variables microclimáticas y de diseño de los invernaderos con variables fisiológicas indicadoras del desarrollo del cultivo de tomate”

4.3.1.1. Medición de variables microclimáticas

Para la medición de las variables microclimáticas, temperatura (°C) y el porcentaje de humedad relativa (%), se usó el sensor a prueba de agua Elitech RC- 51 con registrador de datos, cuyo rango de medición de temperatura se encuentra desde -30 °C a 70 °C, con resolución de 0,1 °C y con una precisión $\pm 0,5$ °C. Este sensor posee una memoria para 32000 grupos de datos y utiliza una interfaz USB 2.0 para transferir datos a la computadora (Elitech, 2016).

Se procedió con la instalación de dos sensores (con cubierta anti radiación), uno al interior y otro en el exterior de cada invernadero a 1,5 m de altura desde el suelo, donde se configuraron de manera que registren datos de temperatura medias, mínimas y máximas, y humedad relativa cada hora durante una semana. El delta de temperatura para cada invernadero se obtuvo de la resta de temperaturas máximas y mínimas. Durante este tiempo

no existió intervención en las condiciones de manejo, por lo cual el registro o toma de datos fueron en condiciones de manejo estándar. Concluido el registro de datos se procedió a calcular el déficit de presión de vapor en kilopascales (kPa) mediante la ecuación de Penman-Monteith:

$$DPV = [PV_{\text{sat}} - PV_{\text{aire}}]$$

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

$$PV_{\text{air}} = [\text{HR } 100] * PV_{\text{sat}}$$

Donde T° corresponde a la temperatura (°C), medida con termómetro; HR corresponde a la humedad relativa (%). Los valores resultantes son expresados en unidades de presión (kPa) (Allen et al., 2006).

4.3.1.2. Medición de variables fisiológicas

Para la medición de las variables fisiológicas del tomate de mesa en etapa reproductiva se escogieron 10 plantas al azar para la respectiva toma de datos. La altura de planta (m) se midió con un flexómetro; se contaron manualmente el número de frutos; el diámetro del fruto (cm) y el grosor del tallo (cm) fueron medidos con un calibrador. Estos datos fueron posteriormente registrados en un cuaderno de campo.

4.3.1.3. Medición de variables de diseño de invernaderos

Para la caracterización de invernaderos inicialmente se procedió con la medición de sus dimensiones utilizando una cinta métrica; con estos datos se calculó la superficie del invernadero (m²). Para calcular el volumen total, se midió la altura al canal y se la multiplicó por el área, a esto se le sumó el volumen de cerchas calculado por la multiplicación del área y longitud de las mismas. Con una brújula se determinó la orientación de cada invernadero. Para calcular el porcentaje de área de ventanas se midió la superficie de las ventanas y se dividió este valor para la superficie total del invernadero y se multiplicó por cien (Cortés, 2007). Finalmente se realizaron esquemas de cada invernadero estudiado en el software AutoCAD.

4.3.1.4. Análisis de correlación entre variables microclimáticas con variables fisiológicas y de diseño de invernaderos

Se establecieron relaciones entre las variables microclimáticas, variables fisiológicas del tomate y las variables que forman parte del diseño del invernadero (Tabla 2), las mismas que fueron analizadas a través de un modelo de regresión lineal en el software R.

Tabla 2. Relaciones determinadas entre variables fisiológicas, microclimáticas y de diseño.

V. Microclimáticas	V. Fisiológicas	V. Diseño
Temperatura máxima	Altura de plantas	Área
Temperatura mínima	Diámetro de fruto	Volumen
Temperatura media	Diámetro de tallo	Volumen / área
Delta T°	N° de frutos en 10 plantas	Altura cenital
		Azimut
		Pendiente
		Altitud

4.3.2. Metodología para la investigación experimental del objetivo 2. “Describir los cambios diarios en temperatura, humedad y déficit de presión de vapor de los invernaderos evaluados y su favorabilidad para el desarrollo del cultivo de tomate”

Para la descripción de las variables microclimáticas de cada invernadero y su aptitud para el desarrollo del cultivo de tomate se procedió a graficar la evolución diaria de temperatura, humedad relativa y DPV, con ayuda del software estadístico R. También se determinó el nivel de estabilidad del microclima dentro de los invernaderos, en los cuales se establecieron rangos de temperatura para dos condiciones: altas (por encima del óptimo diurno del cultivo: 26 °C) y bajas temperaturas (por debajo del óptimo nocturno del cultivo: 15 °C), esto según el INIA (2017). Con los datos registrados por el datalogger las fluctuaciones fueron determinadas en Excel para posteriormente ser analizadas de igual forma en el software R.

Resultados

5.1. Correlación entre temperatura y variables fisiológicas

El rango de temperaturas promedio entre todos los invernaderos se encuentra entre 14,5 en la noche y 22,9 °C en el día, lo cual no difiere mucho respecto a las temperaturas óptimas para la noche y el día reportadas en la literatura (i.e. 15 y 26 °C). No obstante, al revisar todas las temperaturas registradas en todos los invernaderos se puede distinguir grandes diferencias, destacándose que la mayor temperatura máxima fue de 43,2 °C (registrada en el invernadero A), mientras que la menor temperatura registrada fue de 4,7 °C (registrada en los invernaderos J y K) (Tabla 3).

Tabla 3. Valores de temperatura y variables fisiológicas registradas en los trece invernaderos.

Invernadero	Nº de frutos en diez plantas	\bar{x} altura de planta (m)	\bar{x} diámetro de frutos (cm)	\bar{x} diámetro del tallo (cm)	T° med (°C)	T° máx (°C)	T° min (°C)
A	224	2	5,84	0,94	18,28	43,2	8,1
B	515	1,95	6,33	0,9	18,08	35,6	8,9
C	364	2,01	5,15	0,79	17,95	35,1	10,4
D	784	2,54	4,54	1,18	14,54	37,8	9,7
E	165	1,93	7,1	1,01	22,9	35,5	15
F	159	2,03	6,36	0,93	21,21	35,1	17
G	201	2,15	6,49	1,13	22,77	34,4	15,9
H	166	2,37	6,31	0,99	20,75	33,4	15,9
I	197	2,86	5,79	1,12	21,77	37,7	14,2
J	385	2,36	6,3	1,12	15,83	31	4,7
K	213	2,19	6,17	1,07	15,23	29	4,7
L	196	2,21	5,92	1,08	18,32	38,1	7,2
M	209	1,92	6,18	0,71	15,24	28,1	7,6

5.1.2. Relación entre la altura de la planta, diámetro del fruto y diámetro del tallo con la temperatura máxima, mínima, media y delta T

En las Figuras 5, 6 y 7 se puede observar que ninguna de las correlaciones evaluadas fue estadísticamente significativa, es decir que no se detectó relación alguna entre la altura de la planta, diámetro del fruto y diámetro del tallo con la temperatura máxima, mínima, media y delta T.

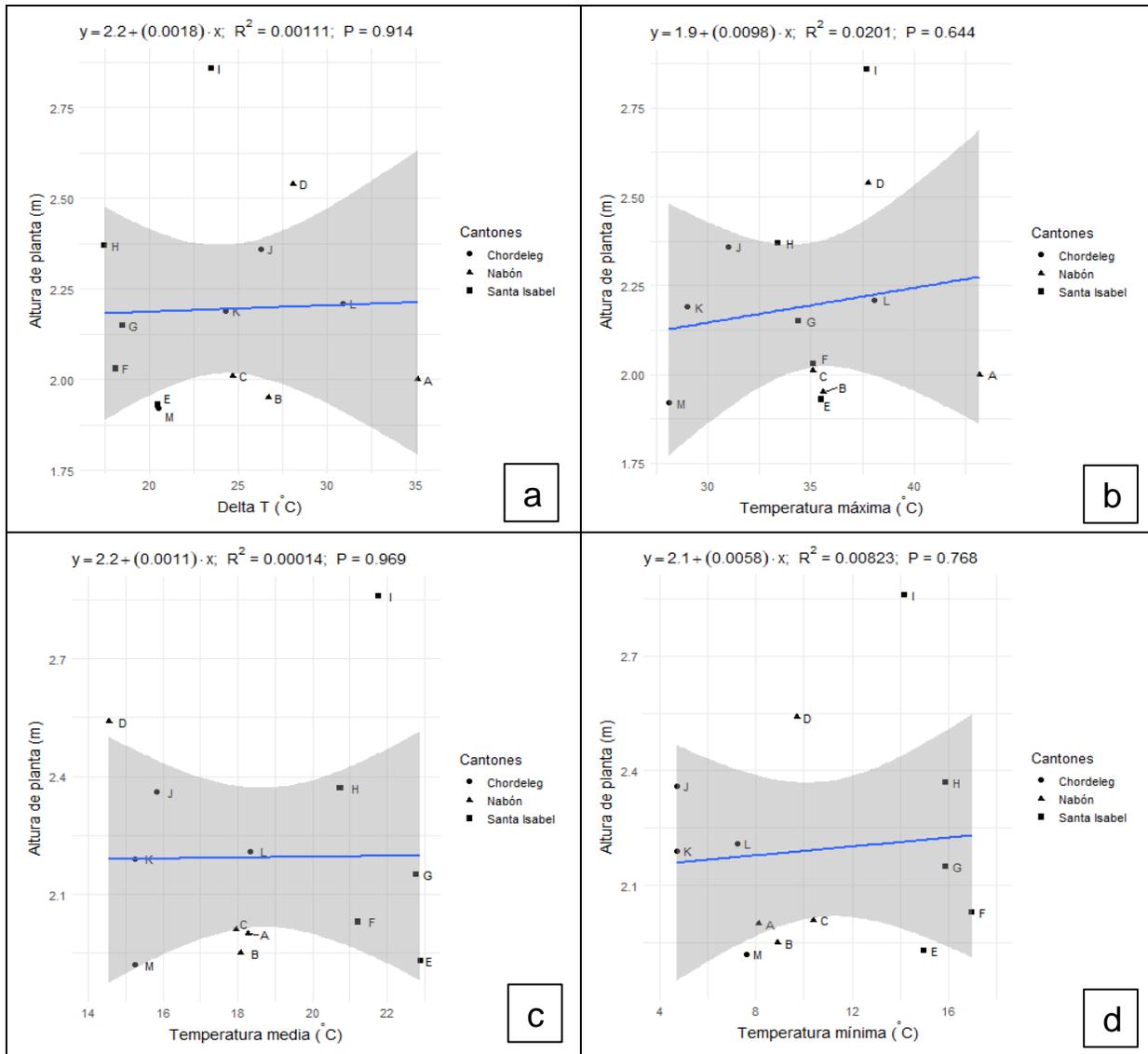


Figura 5. Correlación entre la altura de plantas y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.

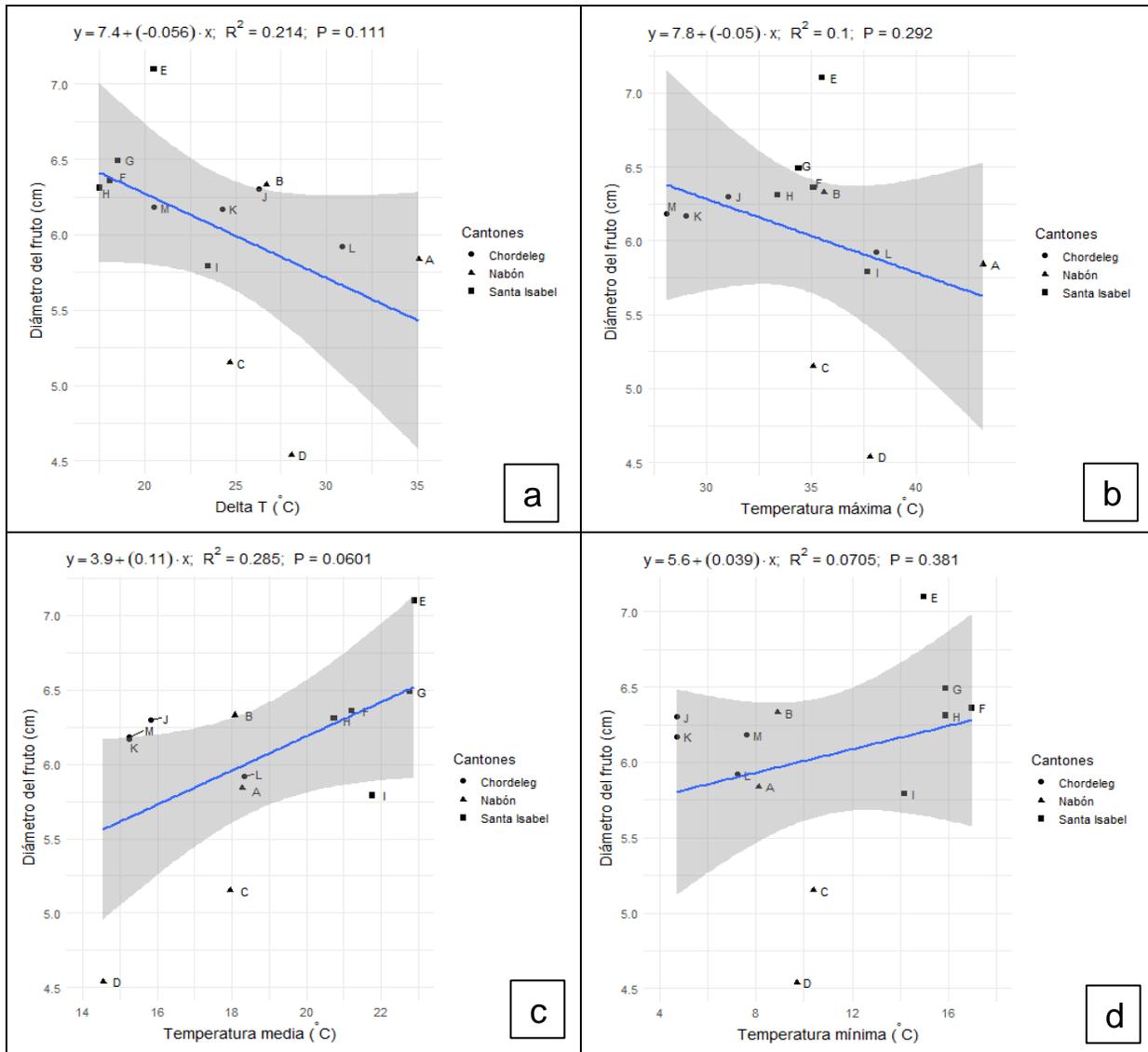


Figura 6. Correlación entre el diámetro de frutos y el delta de temperatura(a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.

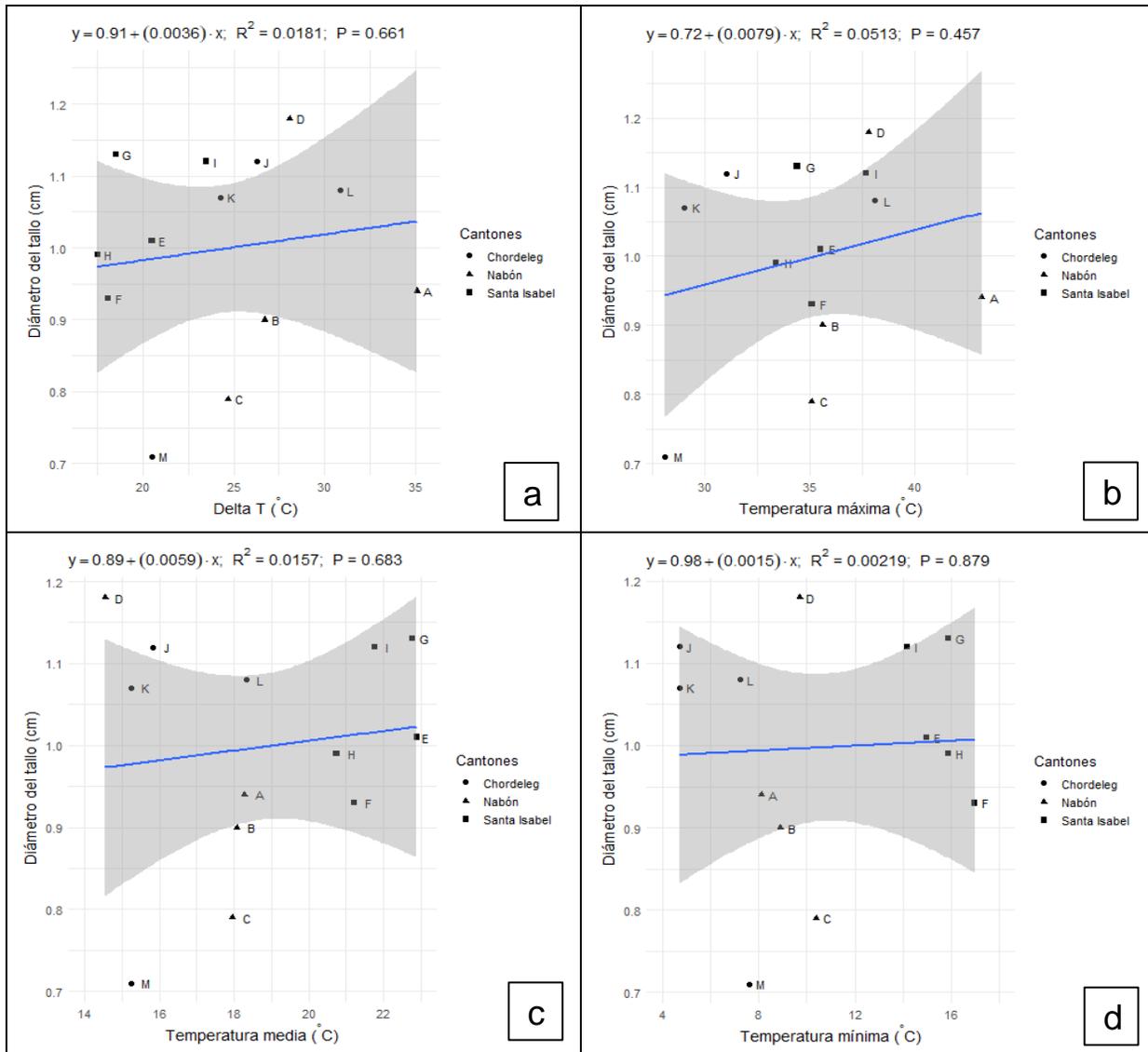


Figura 7. Correlación entre el diámetro del tallo y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.

5.1.3. Relación entre el número de frutos con la temperatura máxima, mínima, media y delta T

La correlación entre el número de frutos y las diferentes variables de temperatura evaluadas fue solamente significativa entre la temperatura media y el número de frutos (Figura 8). En esta correlación se denota una proporcionalidad inversa entre estas dos variables, es decir existe una disminución de 35 frutos por cada grado de incremento (temperatura).

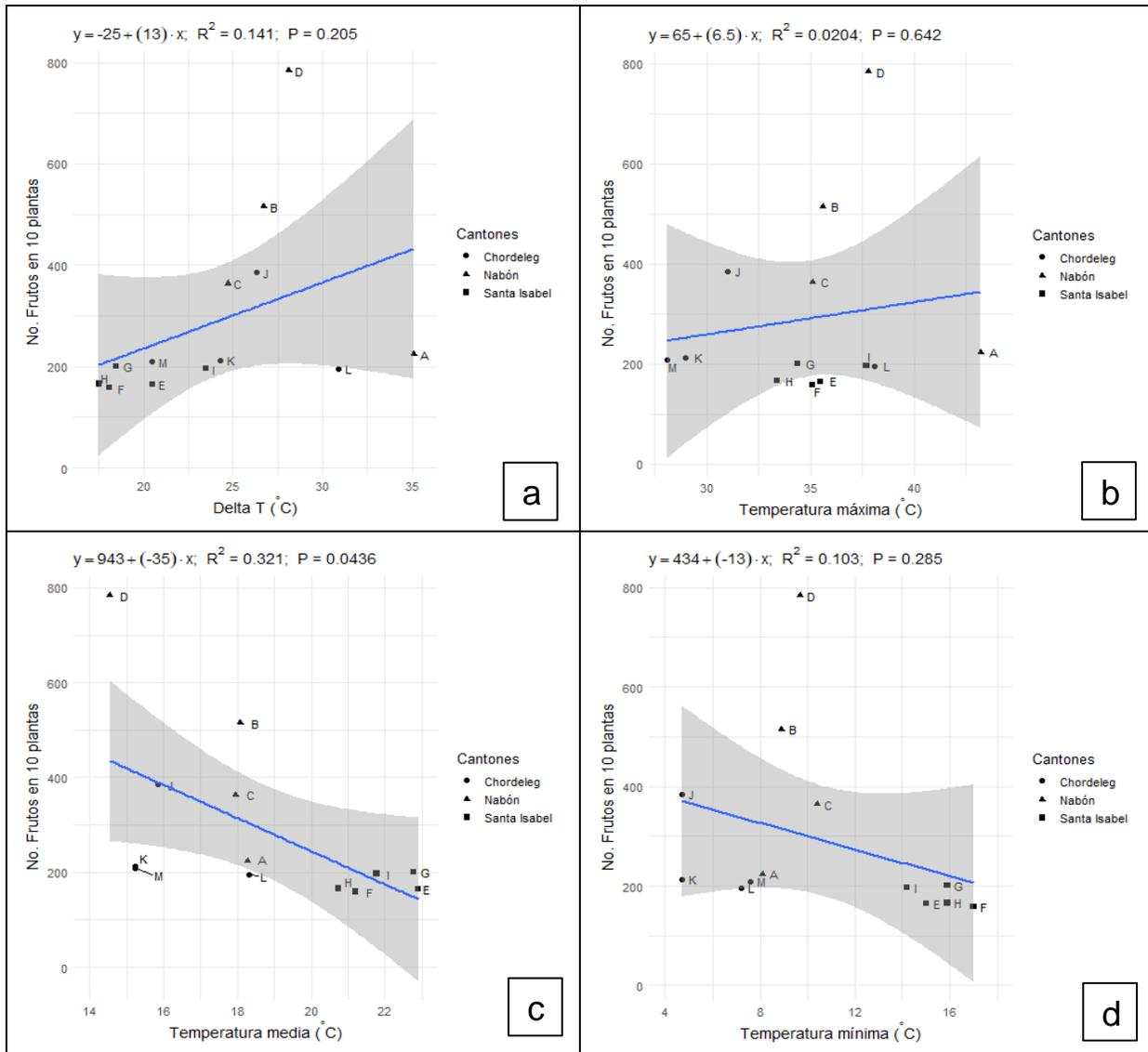


Figura 8. Correlación entre el número de frutos y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.

5.2. Aptitud microclimática para el desarrollo del cultivo de tomate

5.2.2. Temperatura

En la Tabla 4 se observan los valores obtenidos en los cuales los invernaderos se encuentran sobre, bajo, y dentro del rango óptimo de temperatura para el desarrollo del cultivo de tomate, esto para el interior y exterior de los invernaderos.

Tabla 4. Porcentaje de tiempo bajo, sobre y dentro del rango óptimo de temperatura para el desarrollo del cultivo de tomate 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	55	65	23	0	22	35
B	52	59	20	0	29	41
C	43	54	10	1	47	45
D	54	67	13	0	33	33
E	0	1	31	17	69	82
F	0	0	15	5	85	95
G	0	0	27	15	73	85
H	0	0	10	2	90	98
I	4	5	25	6	71	90
J	59	63	10	0	30	37
K	61	67	6	1	33	33
L	54	58	22	2	24	40
M	61	64	3	0	36	36

En la figura 9 se puede observar que en los invernaderos pertenecientes al cantón Santa Isabel el cultivo de tomate se encuentra dentro del rango óptimo de producción en un porcentaje menor del 8 al 19% a comparación del exterior, ya que existe un evidente incremento del porcentaje de tiempo en cual el cultivo se encuentra por encima del rango óptimo en su interior. En esta zona los invernaderos prácticamente no se encuentran con temperaturas por debajo del óptimo.

Los invernaderos ubicados en Nabón y Chordeleg se encuentran por debajo del rango óptimo en un porcentaje menor, del 3 al 13%, a comparación del exterior. Se puede observar un incremento del porcentaje de tiempo en que las plantas se encuentran por

encima del rango óptimo, con porcentajes que van desde el 3 al 23% más que el exterior. En la mayoría de invernaderos, en su interior, existe una disminución del porcentaje de tiempo dentro del rango óptimo que va del 12 al 16% menos que en el exterior. Se destaca que únicamente en el invernadero C perteneciente a Nabón se ha dado un ligero incremento de tiempo dentro del rango óptimo en un 2% y adicionalmente, se observa que en uno de los invernaderos de Nabón (D) y dos en Chordeleg (K y M) no existen diferencias entre en su interior y exterior.

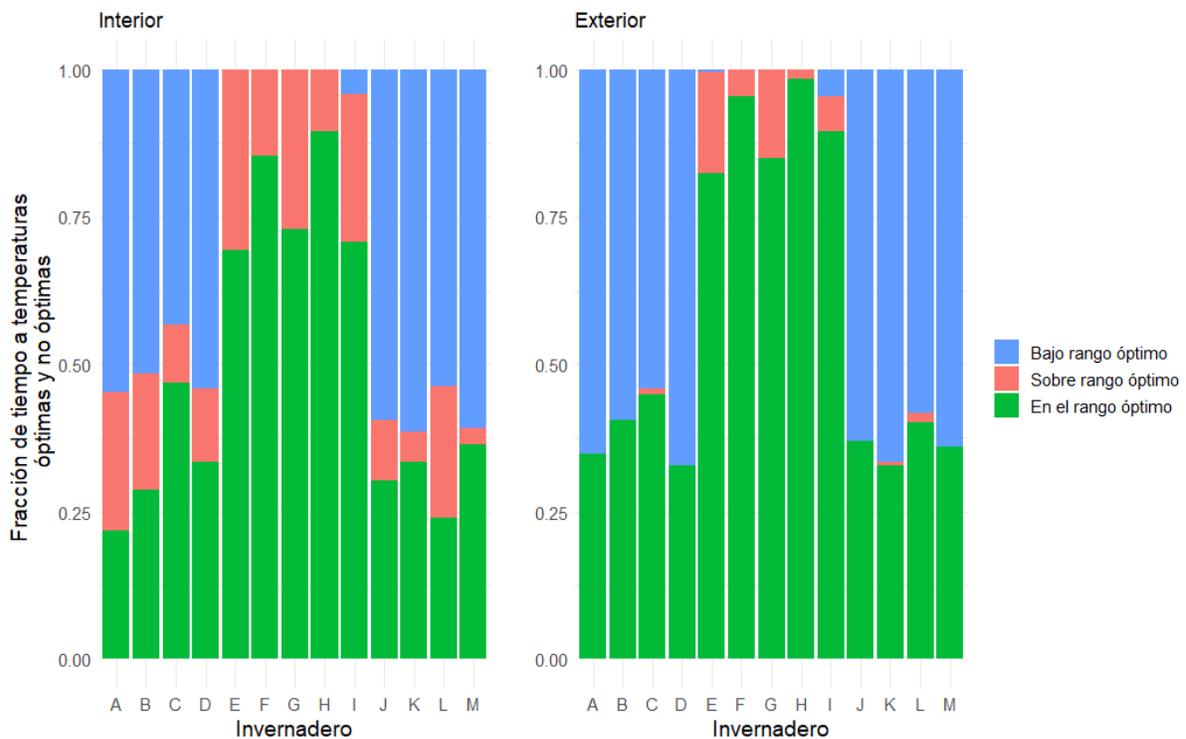


Figura 9. Fracción de tiempo en el cual los invernaderos se encuentran bajo, sobre y dentro del rango óptimo de temperatura en el exterior e interior del invernadero.

La Figura 10 muestra los cambios que se dan entre la temperatura exterior e interior de los invernaderos, evidenciándose variaciones importantes. Los invernaderos de Nabón (A y B), se diferencian del resto, mostrando fluctuaciones desde los 15 °C hasta los 19 °C aproximadamente en temperaturas altas durante el día. Se puede observar que los invernaderos de Santa Isabel (F e I) y los que se encuentra en localidades con mayor altitud (D y L) tienen variaciones entre los 10 a 12 °C, mostrando también evoluciones altas. En cuanto a los invernaderos restantes se tienen variaciones desde los 6 °C hasta los 8 °C. En

el caso de las fluctuaciones de temperatura en el periodo nocturno, por lo general se tienen variaciones entre 1 °C a 1,7 °C para todos los invernaderos.

5.2.3. Humedad relativa

En la Figura 11 se puede apreciar que la mayoría de los invernaderos presentan mayor porcentaje de humedad relativa en el exterior, aproximándose o superando el 90%, llegando incluso al 100% durante la noche, con excepción del invernadero B perteneciente a Nabón, el cual posee mayores niveles de humedad en su exterior al menos dos días. En cuanto a los valores mínimos de humedad en el interior de los invernaderos se puede observar que todos tienen porcentajes menores al 60%, sin embargo, en algunas estructuras pertenecientes a los cantones de Santa Isabel y Chordeleg (E, K, y M) los niveles más bajos de humedad se observan en el exterior.

5.2.4. Déficit de Presión de Vapor (DPV)

La Figura 12 indica que en el interior de todos los invernaderos se sobrepasa el valor óptimo de DPV (1 kPa), incluso existen invernaderos que superan el DPV máximo óptimo (2 kPa), esto se muestra de manera clara en los invernaderos de Nabón (A, B y C), Santa Isabel (I) y Chordeleg (L) en un período de dos a tres días aproximadamente; el resto de invernaderos, aunque expresan cifras menores, superan el parámetro límite de DPV permitido para el desarrollo del tomate de mesa. Por el contrario, se puede comprobar que el DPV en la parte exterior no sobrepasa el valor óptimo máximo, a excepción de algunos invernaderos de Santa Isabel (E, G e I) y Chordeleg (J y L), que superan ligeramente el límite, pero solamente en un día determinado. Se destaca que el único invernadero que se encuentra en los valores óptimos en el análisis fue el invernadero M de Chordeleg. Finalmente, se ha observado que todos los invernaderos también presentan valores bajos de déficit de presión de vapor al encontrarse por debajo del DPV mínimo óptimo para el cultivo.

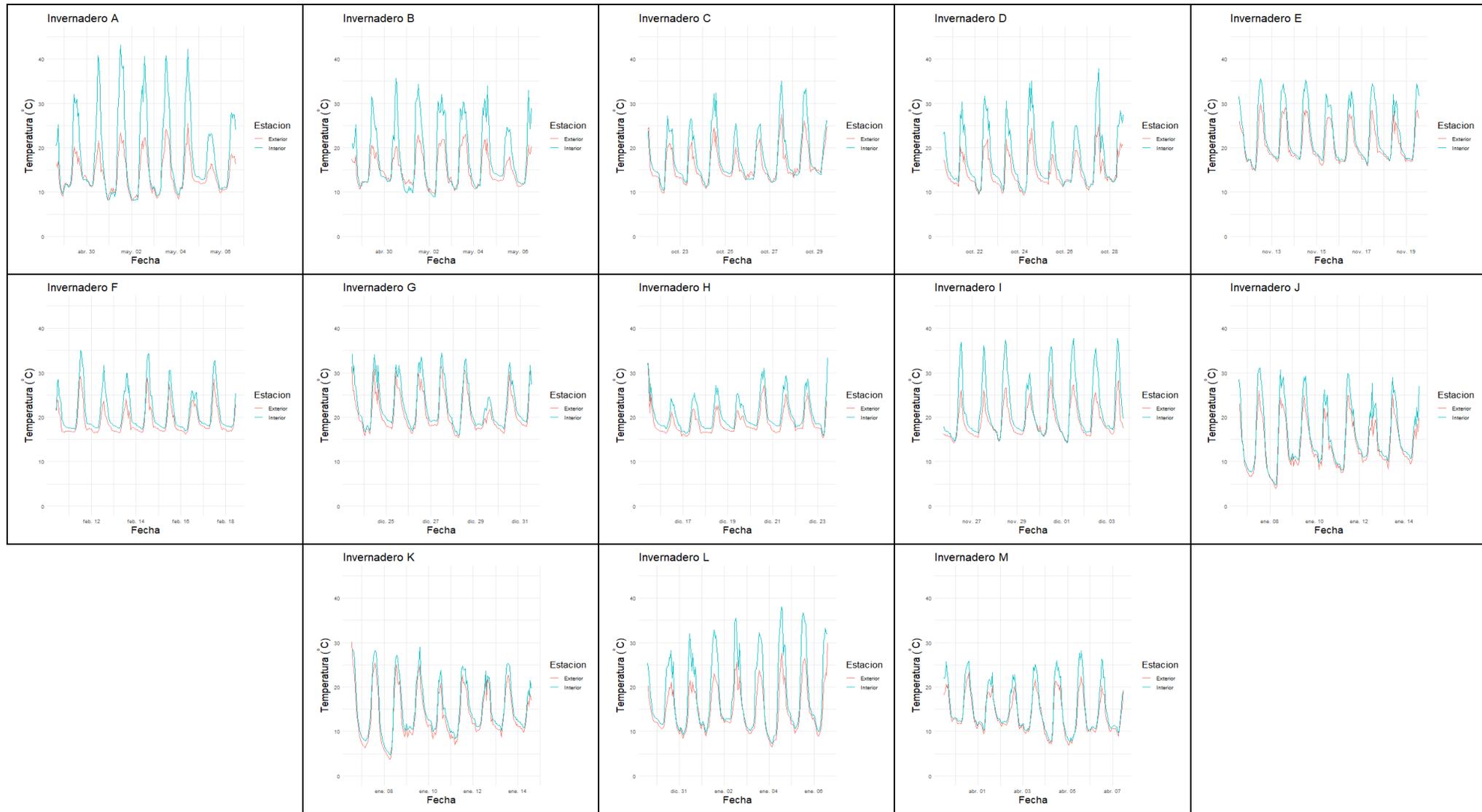


Figura 10. Evolución de la temperatura en el interior y exterior de los invernaderos.

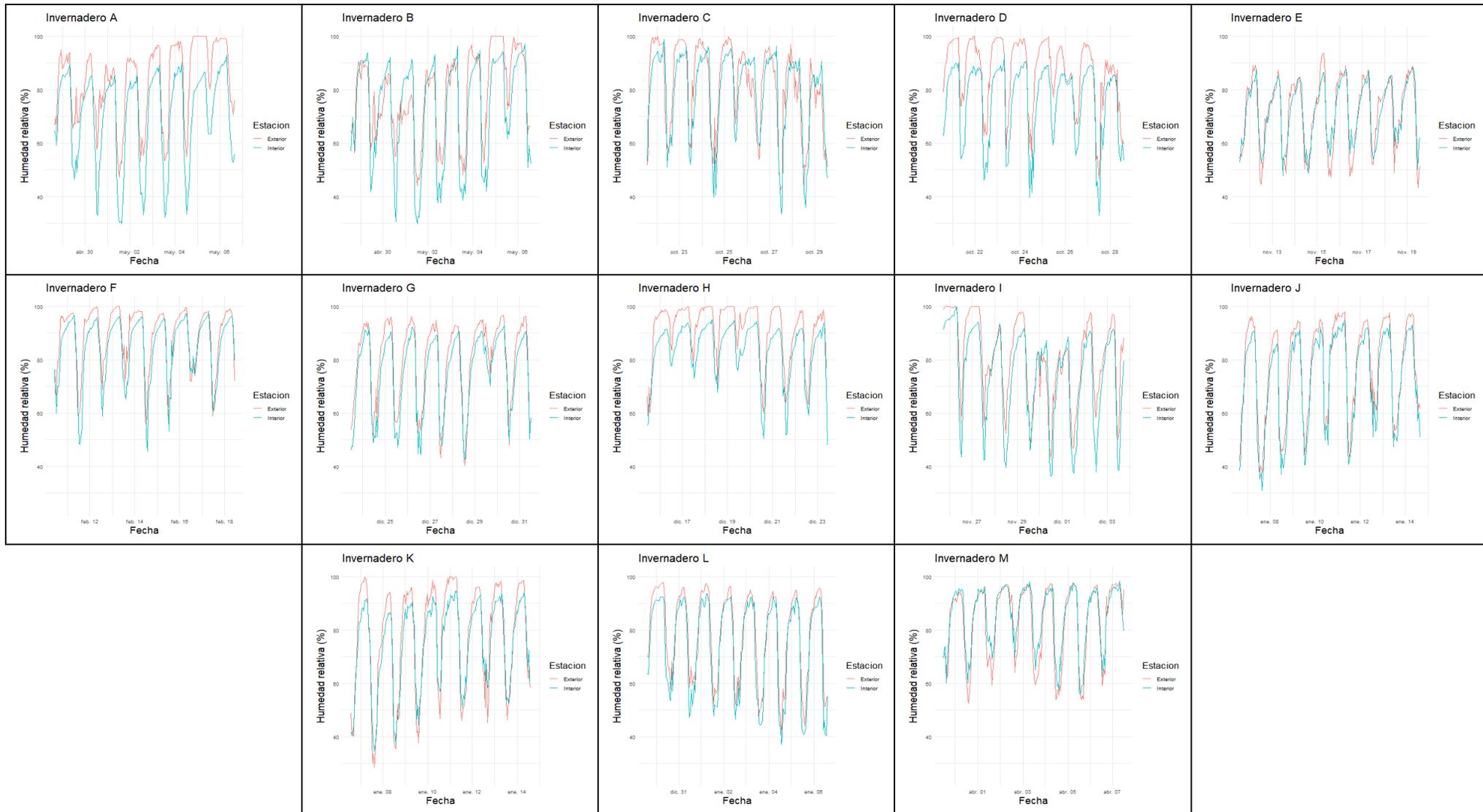


Figura 11. Evolución de la humedad relativa en el interior y exterior de los invernaderos.

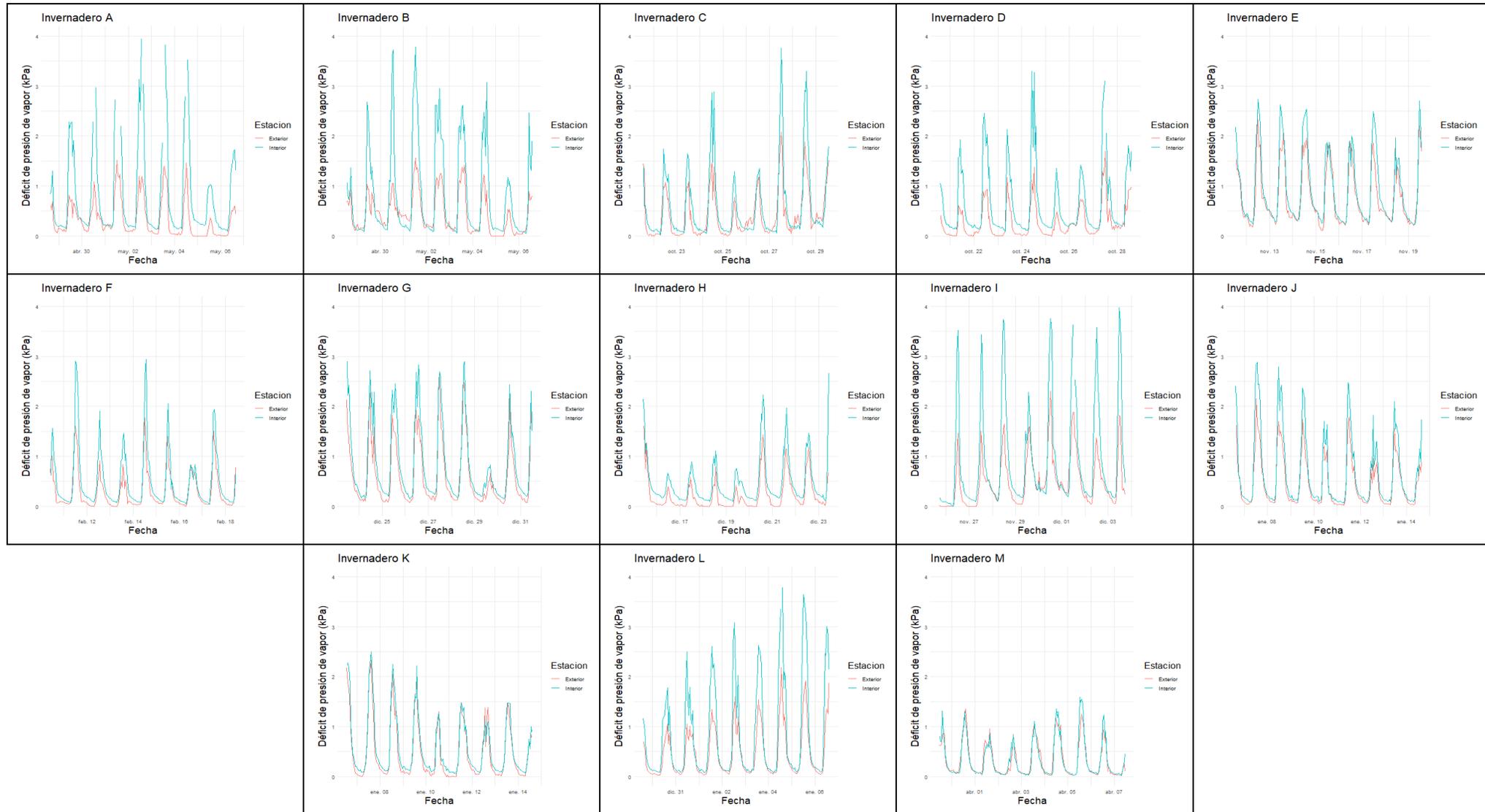


Figura 12. Evolución del DPV en el interior y exterior de los invernaderos.

5.3. Correlación entre temperatura y variables de diseño de invernaderos

5.3.2. Esquematización de invernaderos

El Invernadero A se encuentra ubicado en el sector de Buravalle en la vía a Cochapata, Nabón, a una altitud de 2566 m.s.n.m. y orientación Norte 64° Este. Tiene una construcción del tipo capilla, contando con una sola nave. Los materiales existentes en su estructura están conformados por tubos redondos galvanizados, madera, arcos de capilla semicircular y cubierta de plástico térmico de 4 años de antigüedad; además, de contar con ventanas de sarán en las paredes laterales. El invernadero posee un porcentaje de área de ventanas de 47,06%, superficie de 165,75 m² y volumen de 605,18 m³; la altura a la cenital es de 5 m, con una abertura de 0,35 m, y la altura a la canal es de 2,9 m (Figura 13).

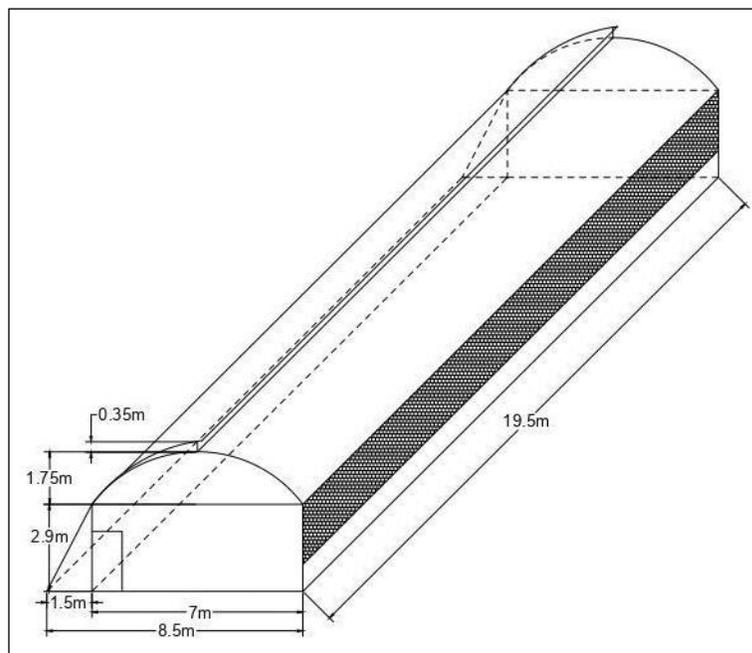


Figura 13. Esquema del Invernadero A a escala 1:250.

El Invernadero B se encuentra ubicado en el sector de Buravalle en la vía a Cochapata, Nabón, a una altitud de 2429 m.s.n.m. y orientación Norte 340° Oeste. Tiene una construcción de tipo capilla, contando con una sola nave. Los materiales existentes en su estructura están conformados por tubos redondos galvanizados, madera, arcos de capilla semicircular y cubierta de plástico térmico de 3 años de antigüedad; además, cuenta con ventanas de sarán en las paredes laterales. El invernadero posee un porcentaje total de área de ventanas de 42,45 %, superficie de 212 m² y volumen de 607,6 m³; la altura a la cenital es de 4,55 m, con una abertura de 0,3 m, y la altura que alcanza a los canales es de 2,45 m (Figura 14).

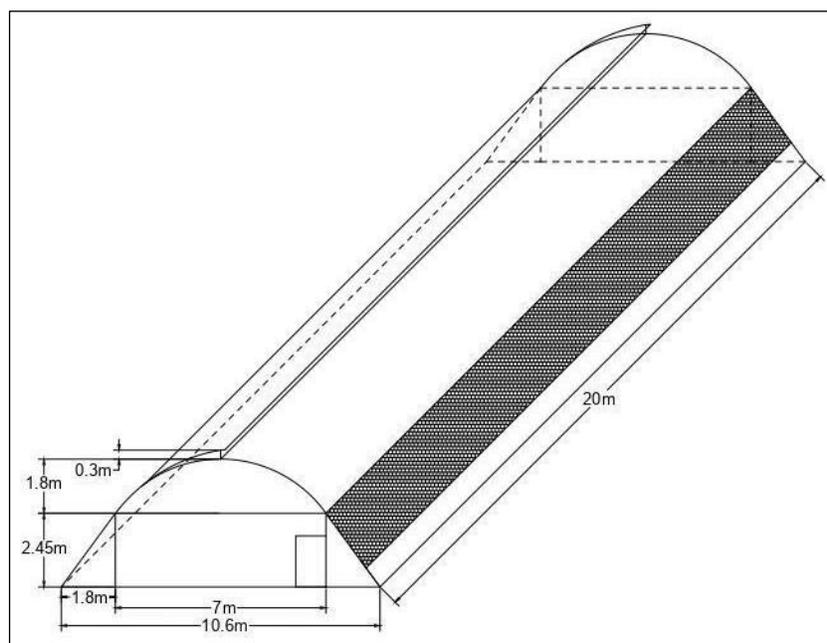


Figura 14. Esquema del Invernadero B a escala 1:250.

El Invernadero C se encuentra ubicado en el centro del sector El Rodeo en la vía a Cochapata, Nabón, a una altitud de 2228 m.s.n.m. y orientación Norte 62° Este. Tiene una construcción de tipo capilla, contando con una sola nave, los materiales existentes en su estructura están conformados por tubos redondos galvanizados, madera como soporte para el tutorado, arcos de capilla semicircular y cubierta de plástico térmico de 3 años de antigüedad; además, cuenta con ventanas de sarán sujetas en las paredes laterales. El invernadero cuenta con un total de área de ventanas de 30,61%, superficie de 156,8 m² y un volumen de 490,5 m³; la altura cenital es de 4,7 m con una abertura de 0,3 m, y la altura a la canal es de 2,6 m (Figura 15).

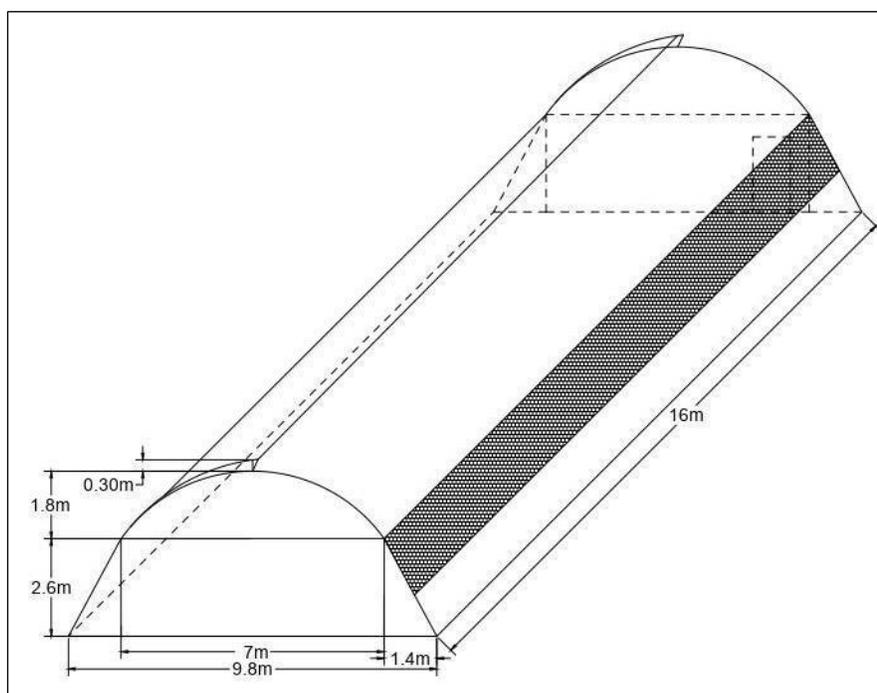


Figura 15. Esquema del Invernadero C a escala 1:200.

El Invernadero D se encuentra ubicado en la parroquia Las Nieves, perteneciente a Nabón, a una altitud de 2535 m.s.n.m. y con una orientación Norte 350° Oeste. Tiene una construcción de tipo multicapilla con 7 naves, las cuales están orientadas en la misma dirección a su cenital, los materiales utilizados para su construcción fueron tubos de hierro galvanizados, una malla de protección contra áfidos y su cubierta está conformada por una película de plástico de 15 años de construcción; cuenta con ventanas de sarán en las paredes laterales y frontales. El invernadero posee un porcentaje total de área de ventanas de 17,75%, superficie de 2165 m² y volumen de 8695,68 m³; la altura a la cenital es de 4 m, con una abertura de 0,55 m y una altura a la canal de 3 m (Figura 16).

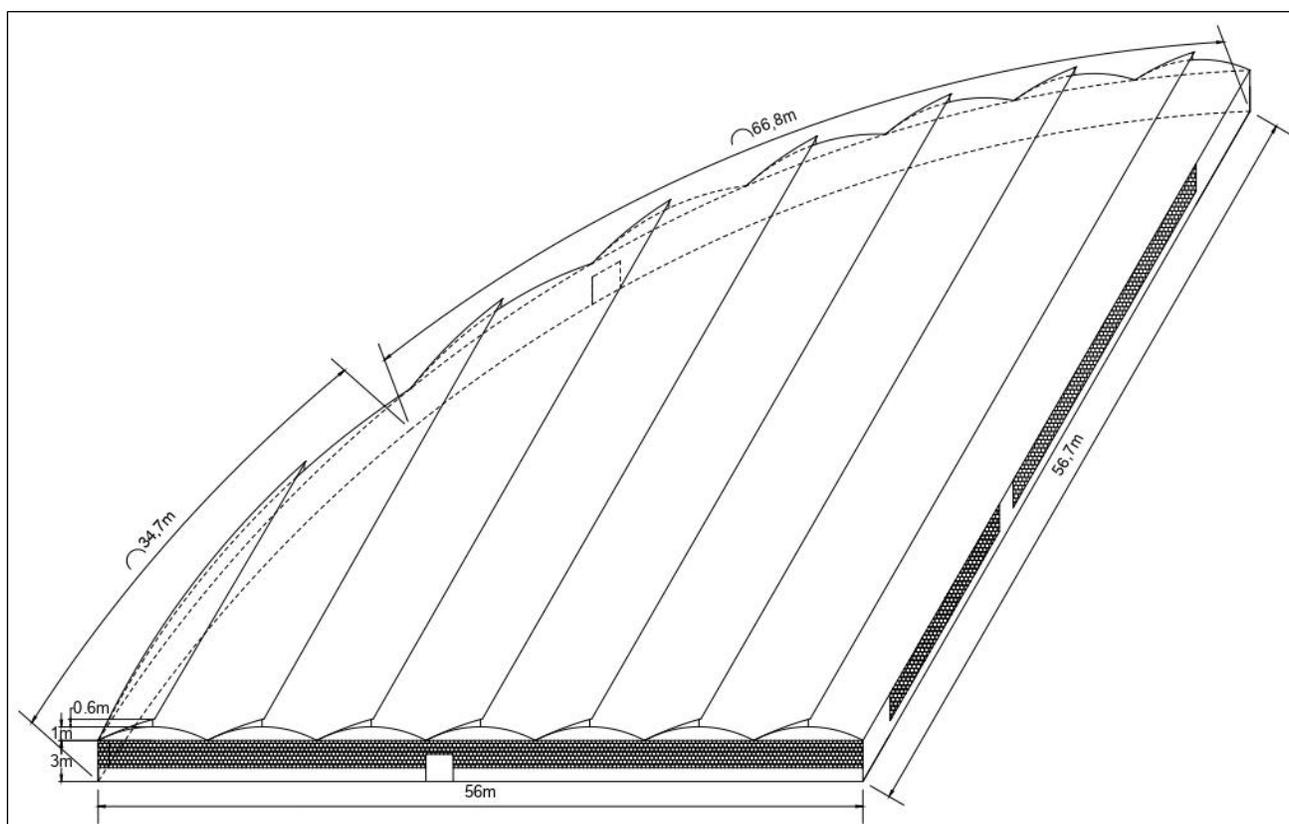


Figura 16. Esquema del Invernadero D a escala 1:550.

El Invernadero E se encuentra ubicado en la parroquia Dandan en la vía al Ramal, Santa Isabel, a una altitud de 1536 m.s.n.m. y orientación Norte 62° Este. Tiene una construcción del tipo multicapilla con 6 naves, de las cuales 3 están orientadas en dirección contraria en su cenital, los materiales existentes en su estructura están conformados por tubos redondos galvanizados, arcos de capilla semicircular y cubierta de plástico térmico de 3 años de construcción; además, cuenta con ventanas de sarán en las paredes laterales, frontales y posteriores. El invernadero posee un porcentaje total de área de ventanas de 13,66%, superficie de 2210 m² y volumen de 9282 m³; la altura a la cenital es de 5,15 m, con una abertura de 0,25 m, y una altura a la canal de 3 m (Figura 17).

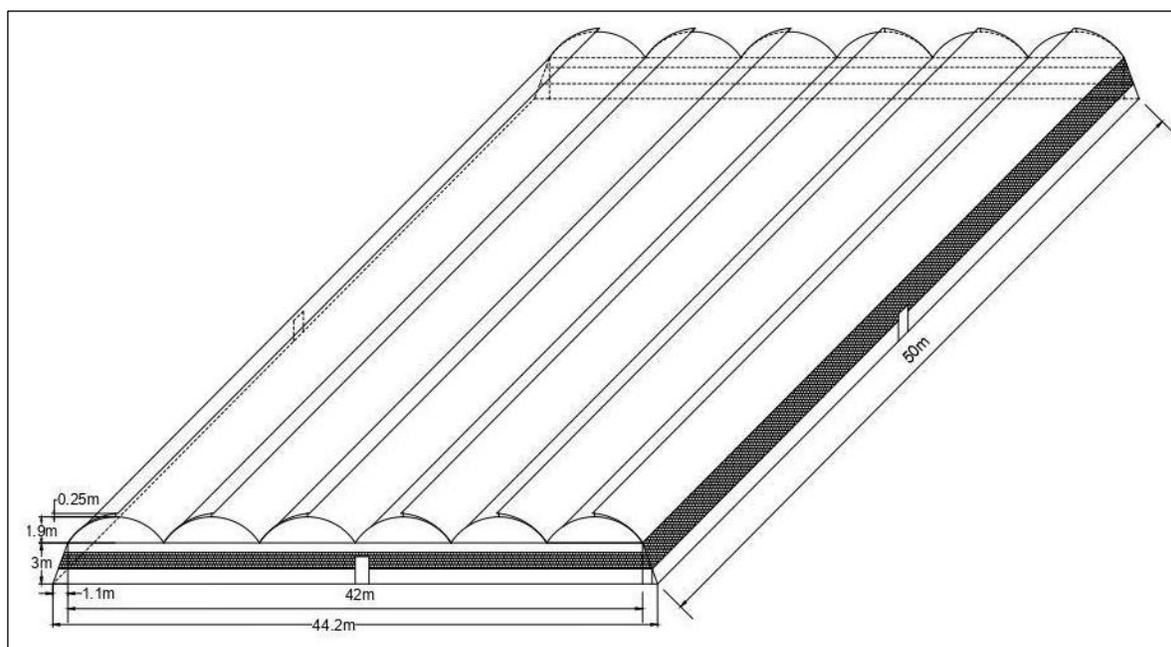


Figura 17. Esquema del Invernadero E a escala 1:250.

El Invernadero F se encuentra ubicado en la parroquia Dandan en la vía al Ramal, Santa Isabel, a una altitud de 1521 m.s.n.m. y orientación Norte 85° Este. Tiene una construcción del tipo multicapilla con 6 naves, de las cuales 3 están orientadas en dirección contraria en su cenital, los materiales existentes en su estructura están conformados por tubos redondos galvanizados, arcos de capilla semicircular y cubierta de plástico térmico de 12 años de construcción; además, cuenta con ventanas de sarán en las paredes laterales, en la parte frontal y posterior de la estructura. El invernadero posee un porcentaje de área de ventana de 33,62%, superficie de 2179,2 m² y volumen de 8640,96 m³; la altura cenital es de 5,25 m, con una abertura de 0,3 m, y una altura a la canal de 2,8 m (Figura 18).

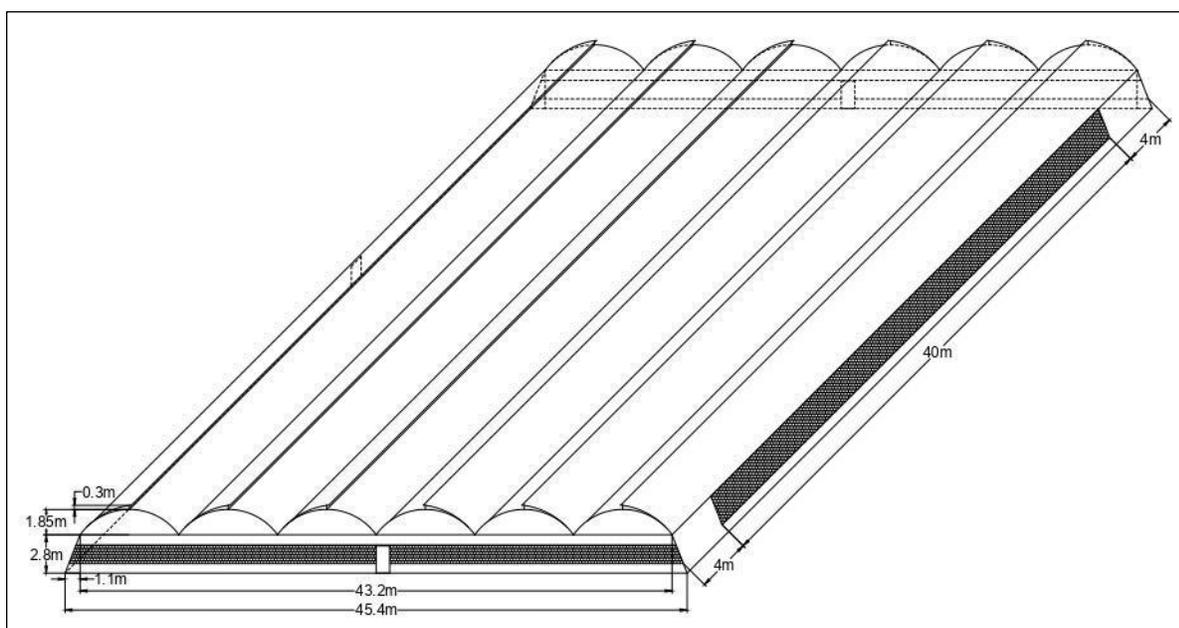


Figura 18. Esquema del Invernadero F a escala 1:550.

El Invernadero G está ubicado en el sector de Peña Blanca, en la entrada de Santa Isabel, a una altitud de 1430 m.s.n.m. y orientación Norte 340° Oeste. Tiene una construcción del tipo multicapilla con 4 naves, con una de ellas incompleta aproximadamente desde la mitad, los materiales existentes en su estructura están conformados por tubos redondos galvanizados, arcos de capilla semicircular y cubierta de plástico térmico de 2 años de construcción; además, cuenta con ventanas de sarán tanto en las paredes laterales, frontales y posteriores. El invernadero posee un porcentaje de área de ventanas de 33,62%, superficie de 1443,49 m² y volumen de 6425,268 m³; la altura a la cenital es de 4,8 m, con una abertura de 0,2 m, y la altura a la canal es de 3 m (Figura 19).

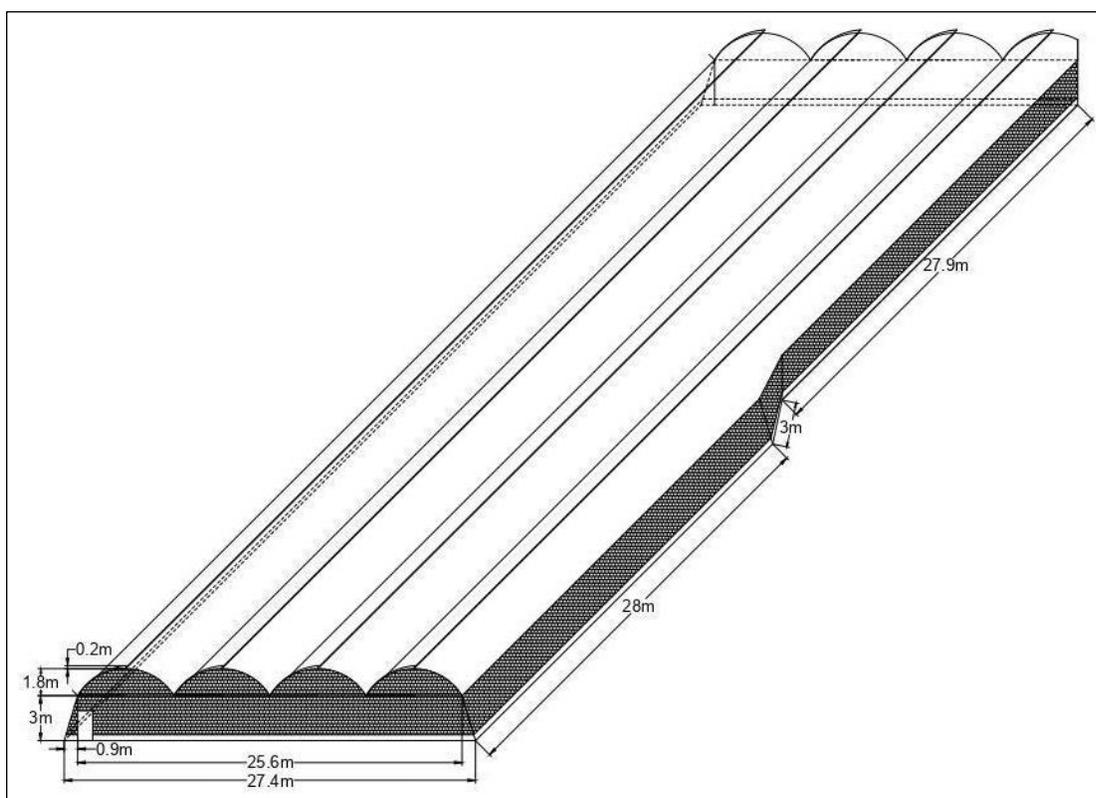


Figura 19. Esquema del Invernadero G a escala 1:550

El Invernadero H se encuentra ubicado en el sector de Peña Blanca, en la entrada de Santa Isabel, a una altitud de 1423 m.s.n.m. y orientación Norte 72° Este. Tiene una construcción del tipo multicapilla con 4 naves, los materiales existentes en su estructura están conformados por tubos redondos galvanizados, arcos de capilla semicircular y cubierta de plástico térmico de 2 años de construcción; además, cuenta con ventanas de sarán tanto en las paredes laterales, frontales y posteriores. El invernadero posee un porcentaje total de área de ventanas de 29,56%, superficie de 1792,8 m² y su volumen de 9012,6 m³; la altura a la cenital es de 5,8 m, con una abertura de 0,15 m, y una altura a la canal de 3,9 m (Figura 20).

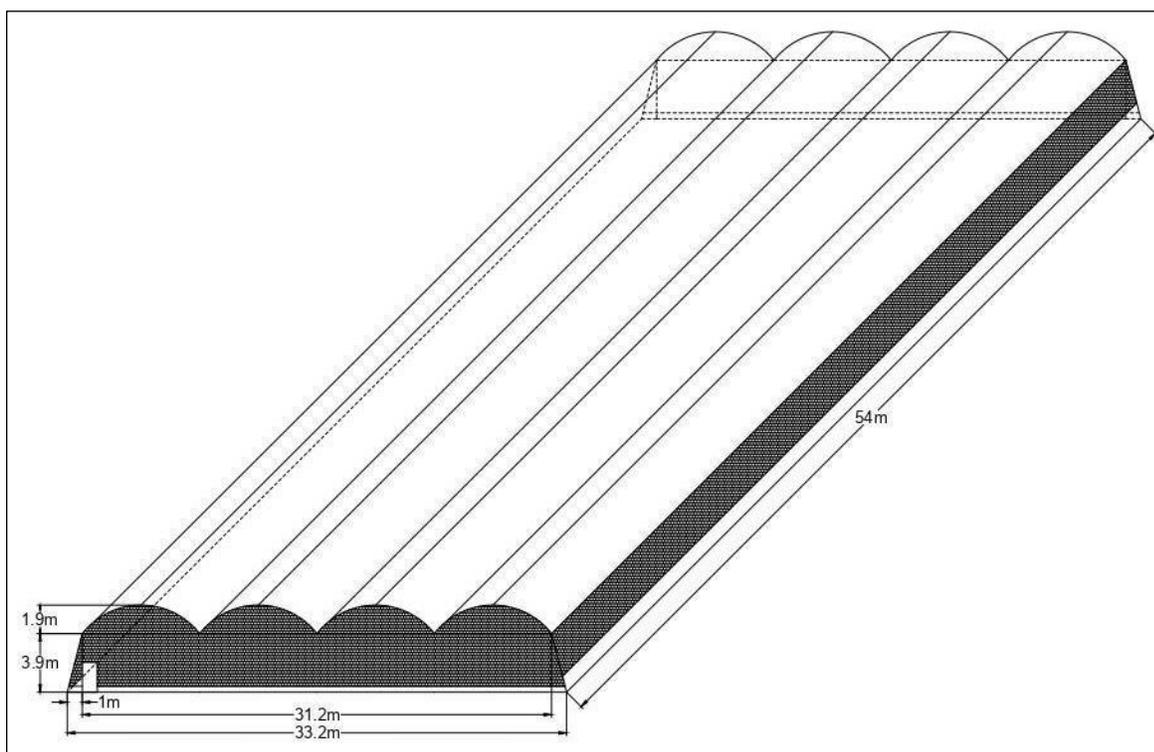


Figura 20. Esquema del Invernadero H a escala 1:500.

El Invernadero I se encuentra ubicado en el sector Minas de Shurupi, Santa Isabel, a una altitud de 1582 m.s.n.m. y orientación Norte 323° Oeste. Tiene una construcción del tipo multicapilla con 5 naves, de las cuales 3 están orientadas en dirección contraria en su cenital, los materiales existentes en su estructura están conformados por tubos redondos galvanizados, arcos de capilla semicircular y cubierta de plástico térmico de 1 año de construcción; además, cuenta con ventanas de sarán tanto en las paredes laterales, frontales y posteriores. El invernadero posee un porcentaje total de área de ventanas de 39,67%, superficie de 1139,6 m² y volumen de 4230,38 m³; la altura a la cenital es de 4,9 m, con una abertura de 0,3 m, y una altura a la canal de 3,65 m (Figura 21).

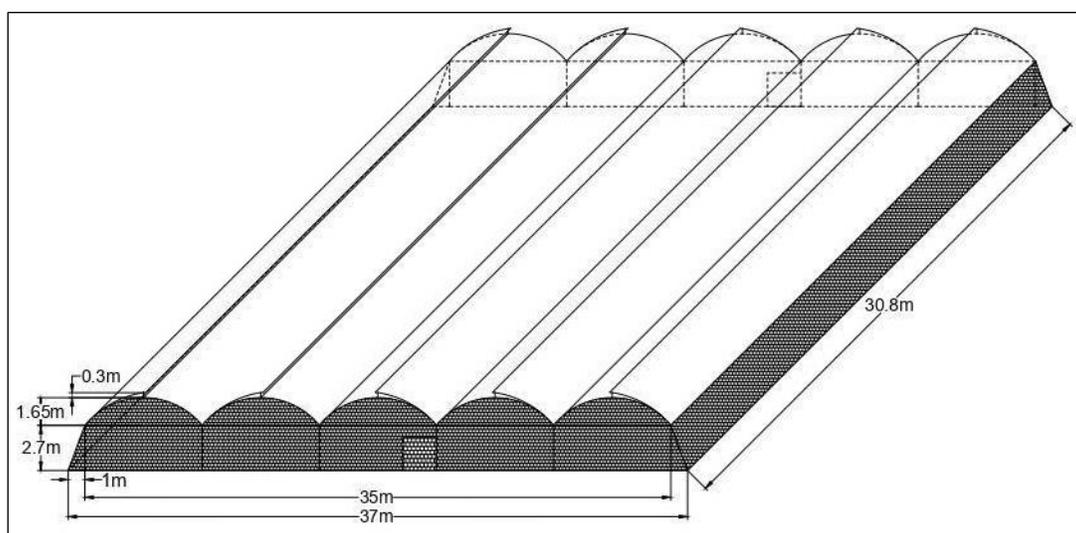


Figura 21. Esquema del Invernadero I a escala 1:450.

El Invernadero J se encuentra ubicado en la parroquia Principal, Chordeleg, a una altitud de 2735 m.s.n.m. y orientación Norte 332° Oeste. Tiene una construcción del tipo multicapilla con 4 naves, de las cuales 2 se encuentran incompletas, los materiales existentes en su estructura están conformados por tubos redondos galvanizados, soportes de madera, arcos de capilla semicircular y cubierta de plástico térmico de 1 año de construcción; además, cuenta con ventanas de sarán en las paredes laterales. El invernadero tiene un porcentaje total de área de ventanas de 25,82%, superficie de 672,4 m² y volumen de 2564,38 m³; la altura a la cenital es de 4,95 m, con una abertura de 0,3 m, y una altura a la canal de 4,65 m (Figura 22).

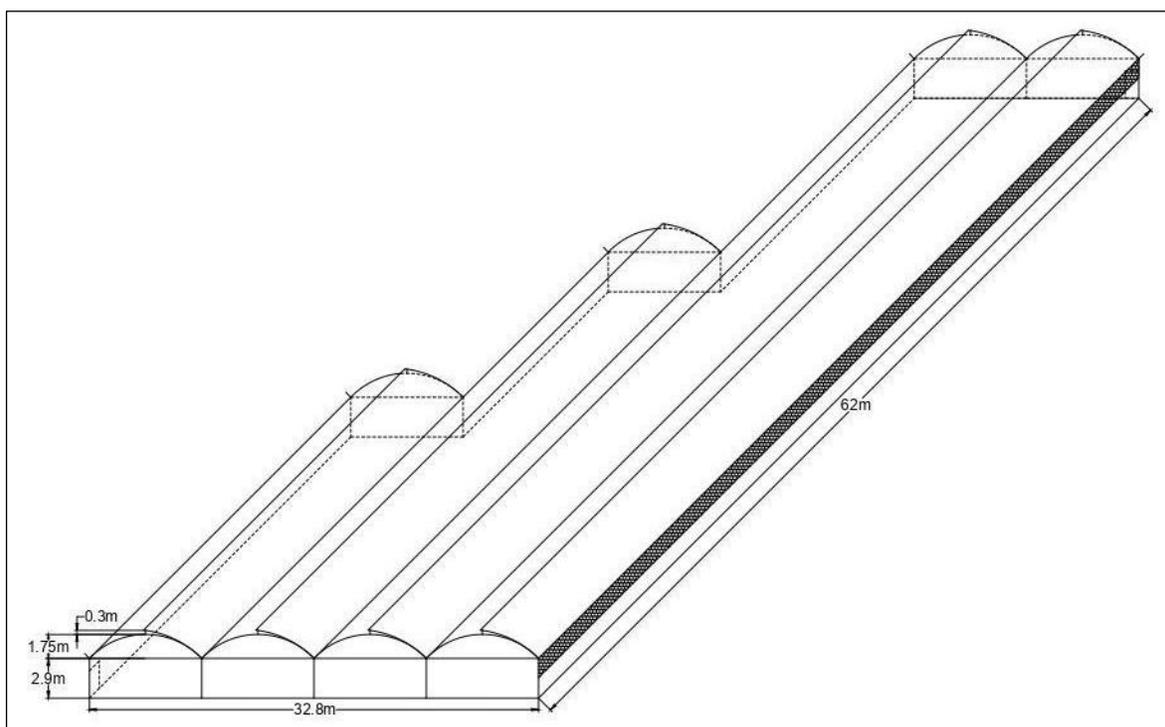


Figura 22. Esquema del Invernadero J a escala 1:550.

El Invernadero K se encuentra ubicado en la parroquia Principal, Chordeleg, a una altitud de 2685 m.s.n.m. y orientación Norte 322° Oeste. Tiene una construcción del tipo multicapilla con 5 naves, los materiales existentes en su estructura están conformados por tubos redondos galvanizados, arcos de capilla semicircular y cubierta de plástico térmico de 1 año de construcción; además, cuenta con ventanas de sarán en las paredes laterales. El invernadero posee un porcentaje total de área de ventanas de 6,5%, superficie de 1920 m² y volumen es de 9259,2 m³; la altura a la cenital es de 5,8 m, con una abertura de 0,4 m, y una altura a la canal de 3,5 m (Figura 23).

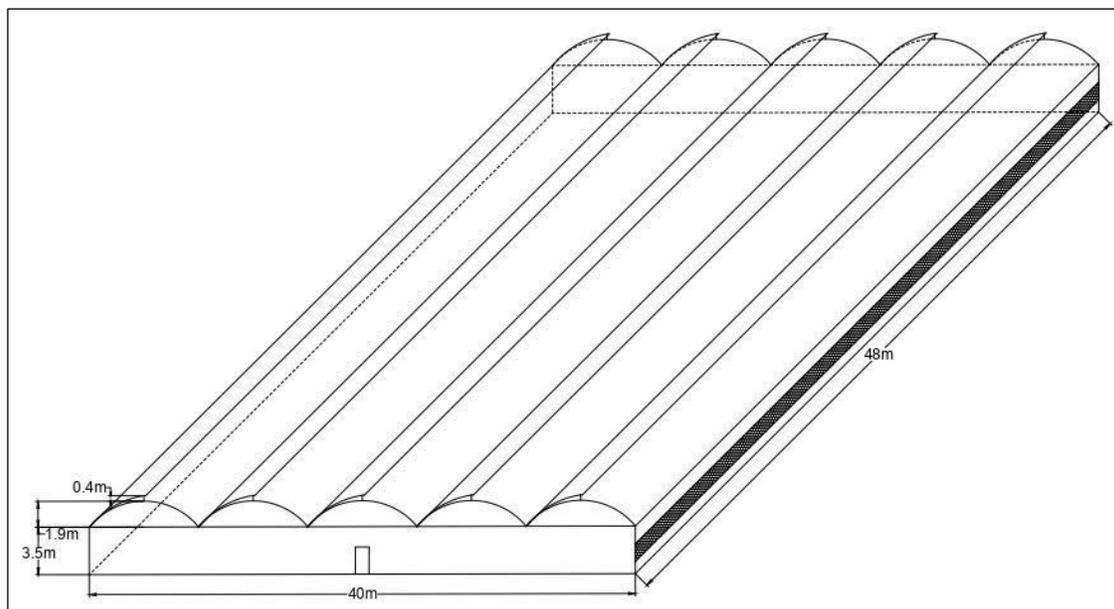


Figura 23. Esquema del Invernadero K a escala 1:500.

El Invernadero L se encuentra ubicado en la parroquia Principal, Chordeleg, a una altitud de 2670 m.s.n.m. y orientación Norte 56° Este. Tiene una construcción del tipo multicapilla con 3 naves, los materiales existentes en su estructura están conformados por tubos redondos galvanizados, arcos de capilla semicircular y cubierta de plástico térmico de 1 año de construcción; además cuenta con ventanas de sarán en las paredes laterales. El invernadero posee un porcentaje total de área de ventanas de 11,81%, superficie de 720 m² y volumen de 3058,2 m³; la altura a la cenital es de 5,3 m, con una abertura de 0,5 m, y una altura a la canal de 3 m (Figura 24).

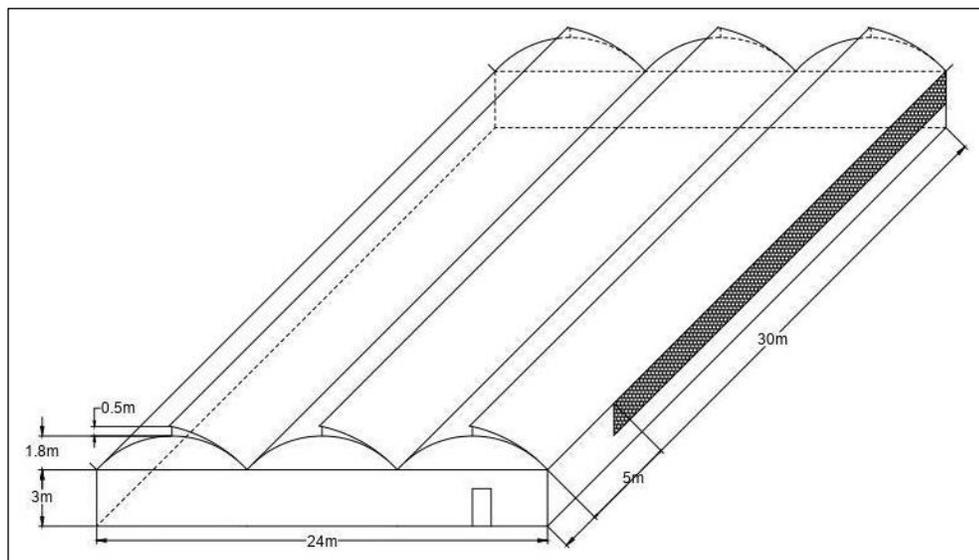


Figura 24. Esquema del Invernadero L a escala 1:450.

El Invernadero M se encuentra ubicado en la parroquia Principal, Chordeleg, a una altitud de 2656 m.s.n.m. y orientación Norte 307° Este. Tiene una construcción del tipo multicapilla con 2 naves, los materiales existentes en su estructura están conformados por tubos redondos galvanizados, arcos de capilla semicircular y cubierta de plástico térmico de 1 año y medio de construcción; además cuenta con ventanas de sarán en las paredes laterales. El invernadero posee un porcentaje total de área de ventanas de 16,88%, superficie de 640 m² y volumen de 2448 m³; la altura a la cenital es de 4,75 m, con una abertura de 0,3 m, y una altura a la canal de 4,45 m (Figura 25).

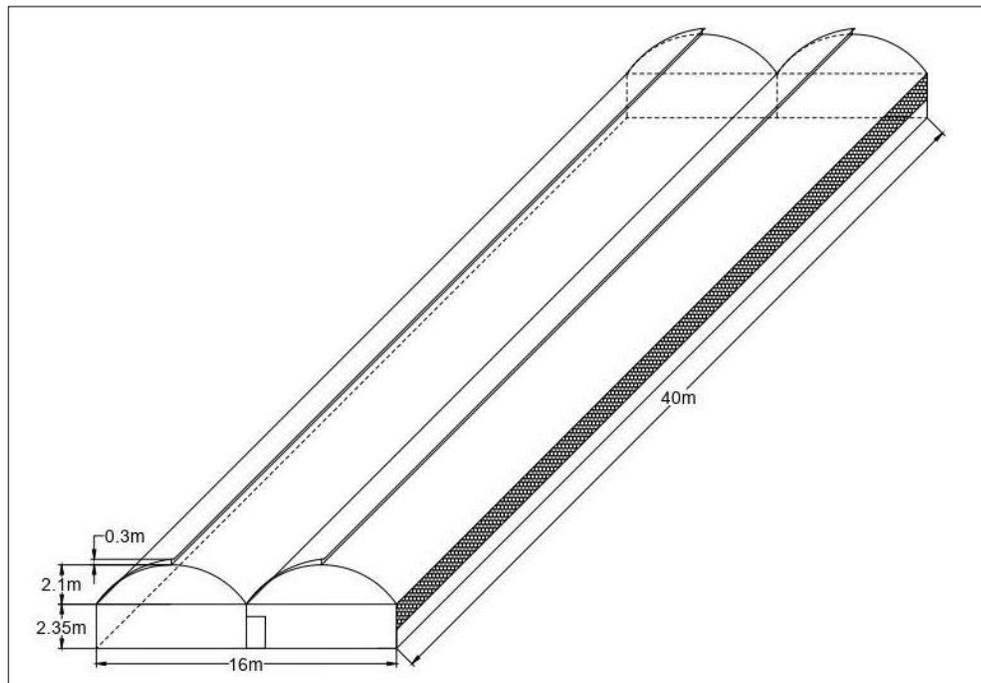


Figura 25. Esquema del Invernadero M a escala 1:400.

En la Tabla 5 se presenta un resumen de las características de diseño de los invernaderos evaluados.

Tabla 5. Valores de las variables de diseño registradas en los trece invernaderos.

Invernadero	Altitud m.s.n.m.	Altura a la cenital (m)	Área (m ²)	%Área de ventanas	Volumen (m ³)	Volumen unitario (m ³ / m ²)	Azimut	Pendiente %
A	2566	5	165,75	47,06	605,18	4,43	64°	6
B	2429	4,55	212	42,45	607,6	2,87	340°	26
C	2228	4,7	156,8	30,61	490,56	3,13	62°	16
D	2508	4	2165	17,75	8695,68	4,02	350°	22
E	1536	5,15	2210	13,66	9282	4,2	62°	11
F	1521	5,25	2179,2	13,67	8640,96	3,97	85°	12
G	1430	4,8	1443,49	33,62	6425,27	4,45	340°	5
H	1423	5,8	1792,8	29,56	9012,6	5,03	72°	8
I	1582	4,9	1139,6	39,67	4230,38	3,71	323°	15
J	2735	4,95	672,4	25,82	2564,38	3,81	332°	30
K	2685	5,8	1920	6,5	9259,2	4,82	322°	49
L	2670	5,3	720	11,81	3058,2	4,25	56°	25
M	2656	4,75	640	16,88	2448	3,83	307°	4

5.3.3. Relación entre la altura a la cenital, área, porcentaje de área de ventanas, volumen unitario y azimut con la temperatura máxima, mínima, media y delta T

Se puede observar en las Figuras 26, 27, 28, 29 y 30 que ninguna de las correlaciones evaluadas fue estadísticamente significativa, por lo cual no se detectó una relación entre la altura a la cenital, área, porcentaje de área de ventanas, volumen unitario y azimut con la temperatura máxima, mínima, media y delta T.

Respecto al azimut, se puede destacar que los invernaderos se orientan en dos direcciones: al Noroeste los invernaderos B, D, G, I, J, K y M; y al Noreste los invernaderos A, C, E, F, H, y L (Figura 25).

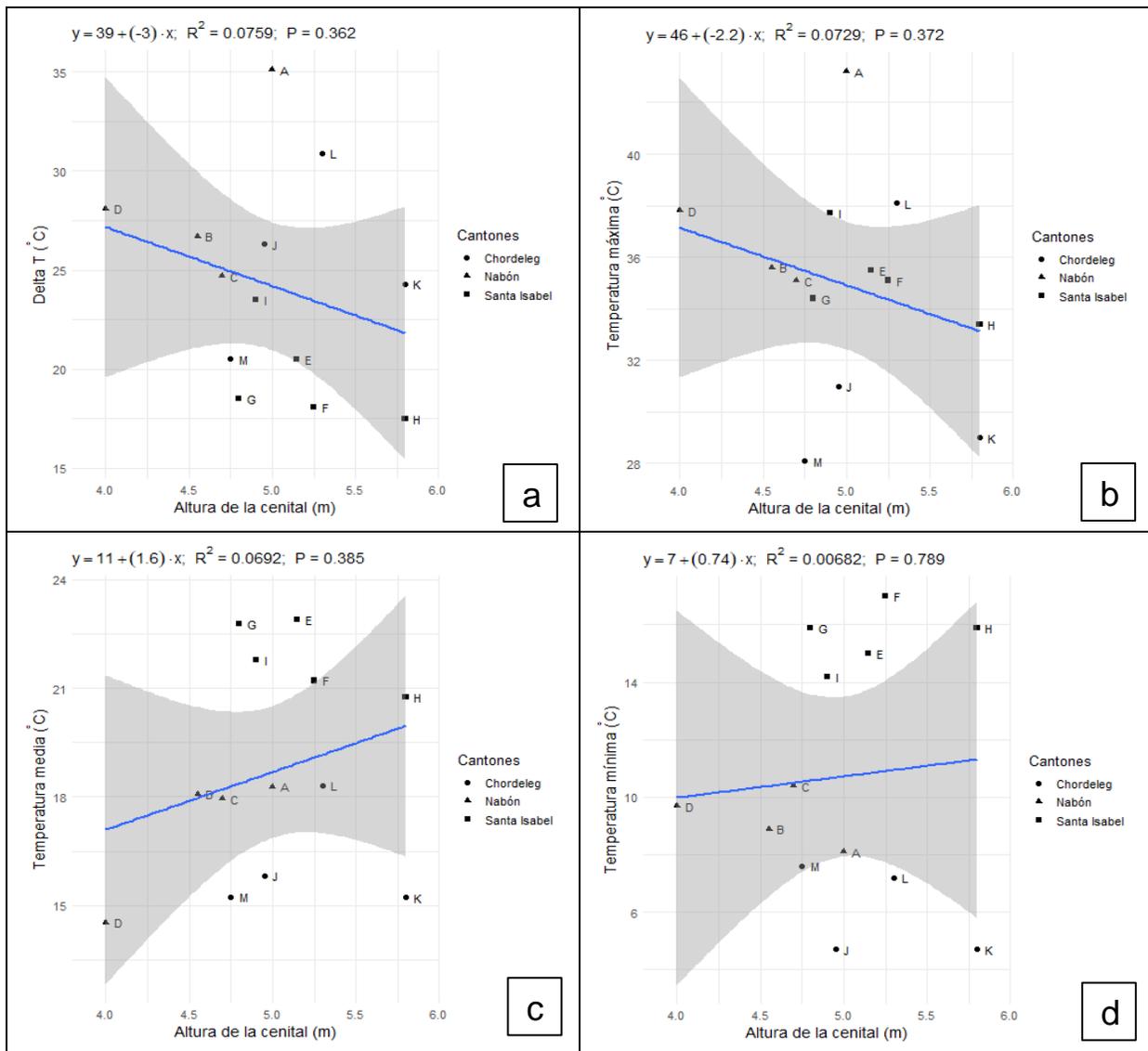


Figura 26. Correlación entre la altura a la cenital y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.

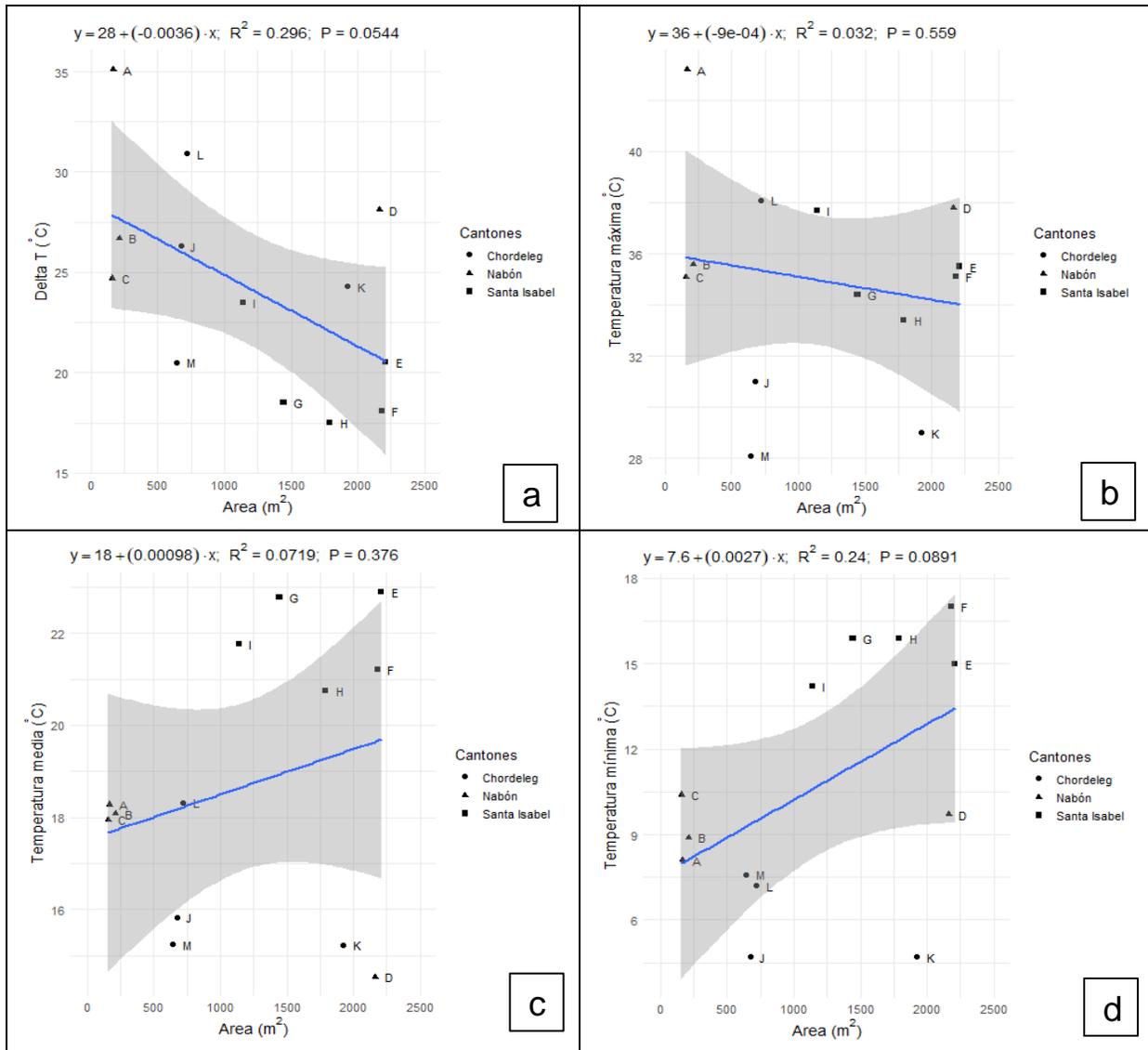


Figura 27. Correlación entre el área del invernadero y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R²). Valores p>0.05 no muestran significancia.

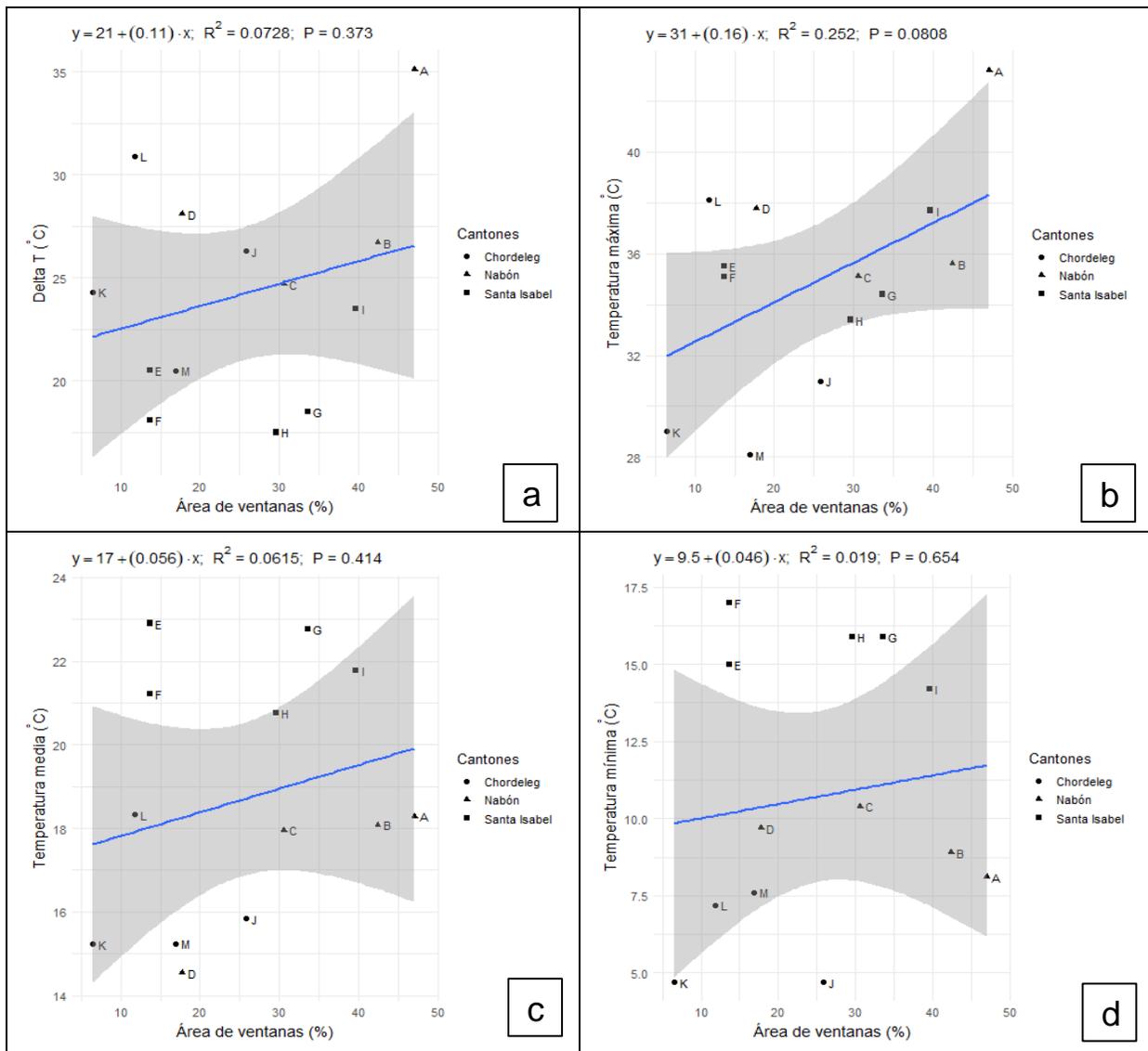


Figura 28. Correlación entre el área de ventanas y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.

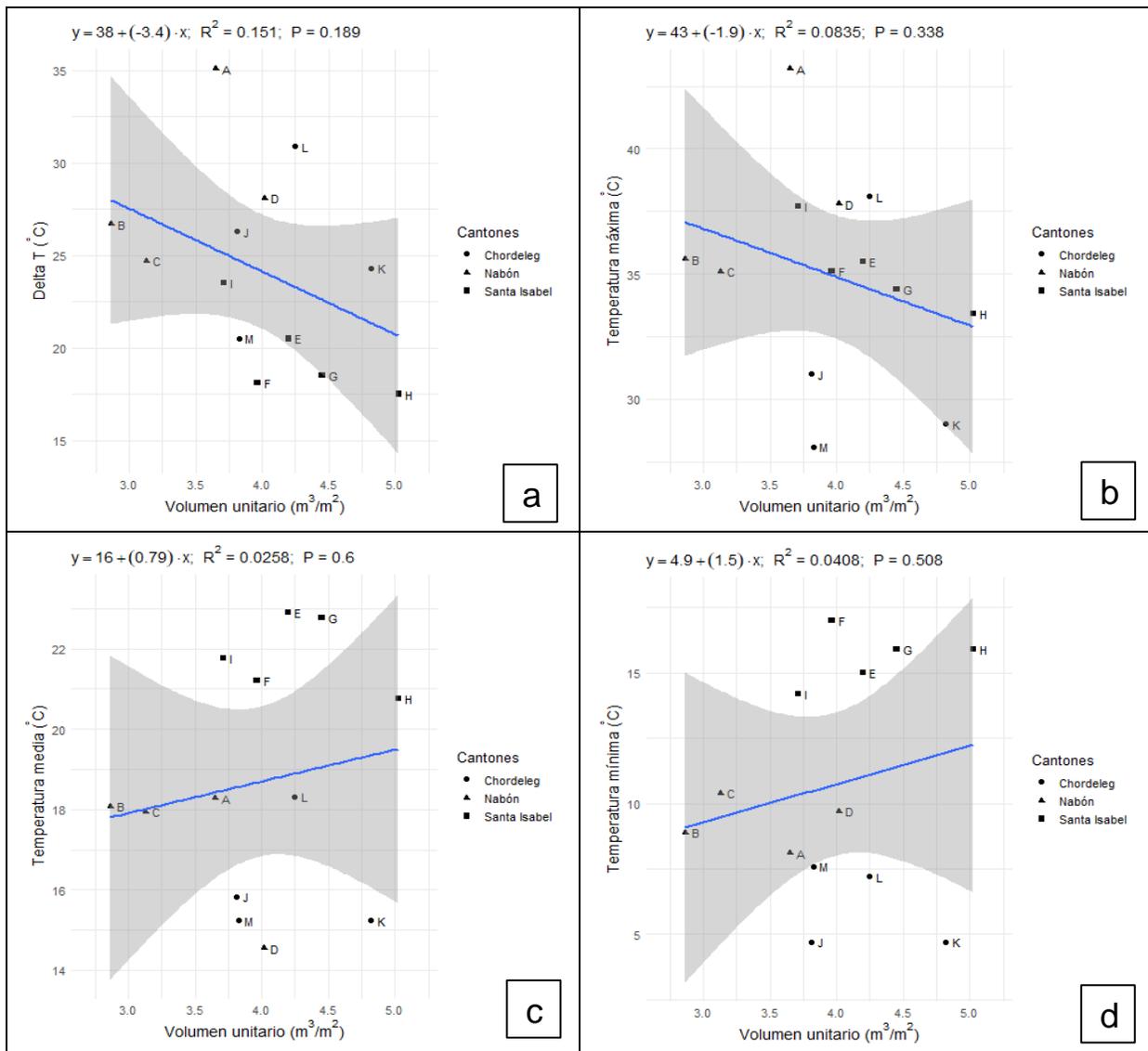


Figura 29. Correlación entre el volumen unitario y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.

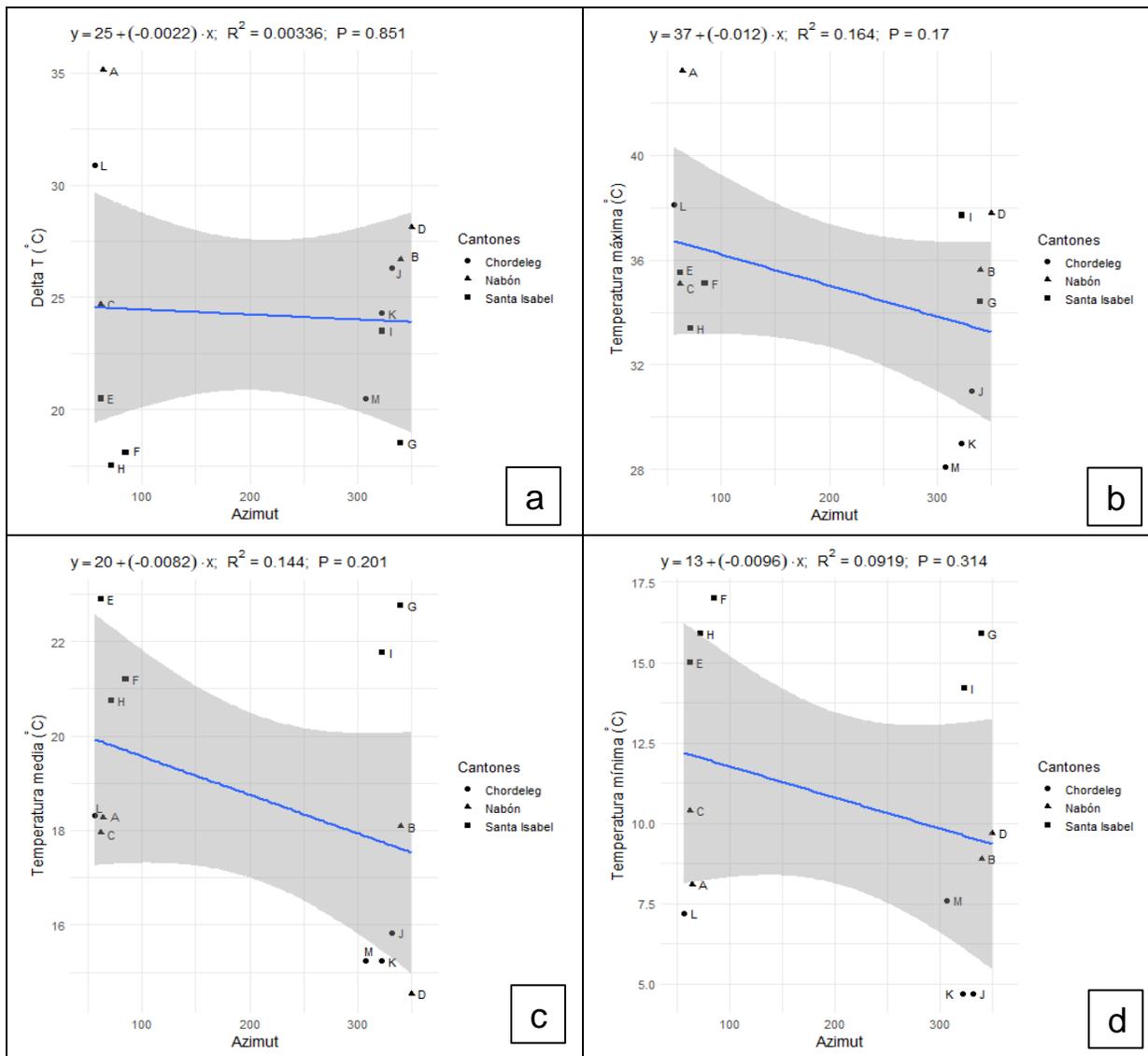


Figura 30. Correlación entre el Azimut y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.

Se puede destacar que los invernaderos se orientan en dos direcciones: al Noroeste los invernaderos B, D, G, I, J, K y M; y al Noreste los invernaderos A, C, E, F, H, y L

5.3.4. Relación entre la altitud, volumen y pendiente con la temperatura máxima, mínima, media y delta T

Las correlaciones entre la altitud, volumen y pendiente con la temperatura máxima, mínima, media y delta T fueron significativas en algunos casos.

En la Figura 31 se puede observar una correlación significativa entre la altitud con la temperatura mínima y media, y el delta T. De acuerdo a esta correlación, existe una disminución de 0,0048 °C (c) y 0,007 ° C (d) por cada metro de incremento de altitud, para la temperatura media y mínima respectivamente. En el caso del delta de temperatura, existe un aumento de 0,0068 °C por cada metro de incremento. La correlación entre la altitud y la temperatura máxima no fue significativa.

La correlación entre el delta T (a) y el volumen de invernaderos fue estadísticamente significativa mostrando una relación inversamente proporcional en la cual la temperatura se reduce conforme se incrementa el volumen del invernadero (Figura 32).

La temperatura mínima y la pendiente del invernadero mostraron una correlación estadísticamente significativa e inversamente proporcional con una reducción de 0,22 °C por cada grado de incremento en la pendiente (Figura 33). No obstante, existe una correlación directa también entre la altitud y la pendiente, por lo que probablemente la correlación entre pendiente y temperatura mínima podría incluir también una confusión de efectos con la altitud.

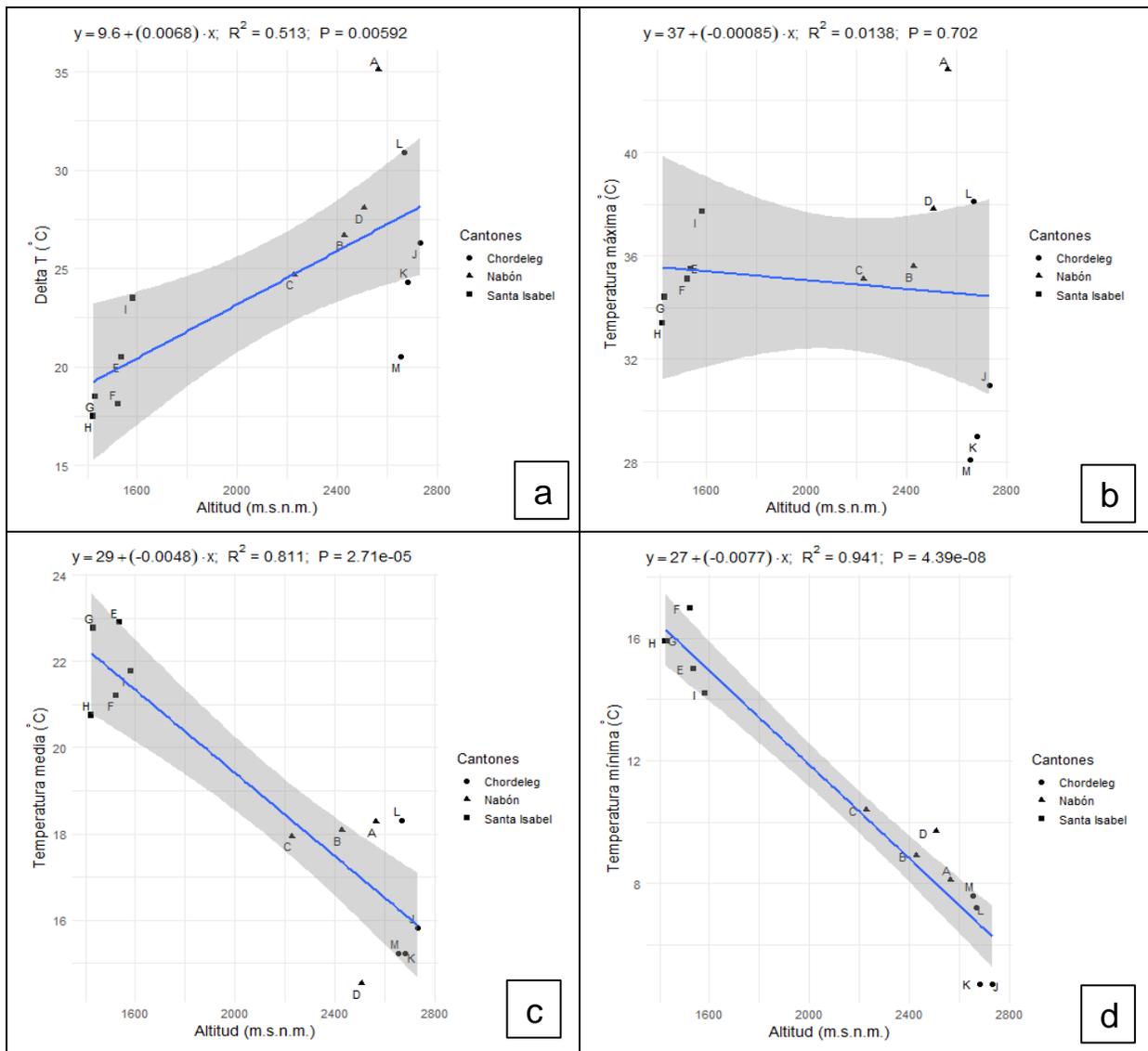


Figura 31. Correlación entre la altitud y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.

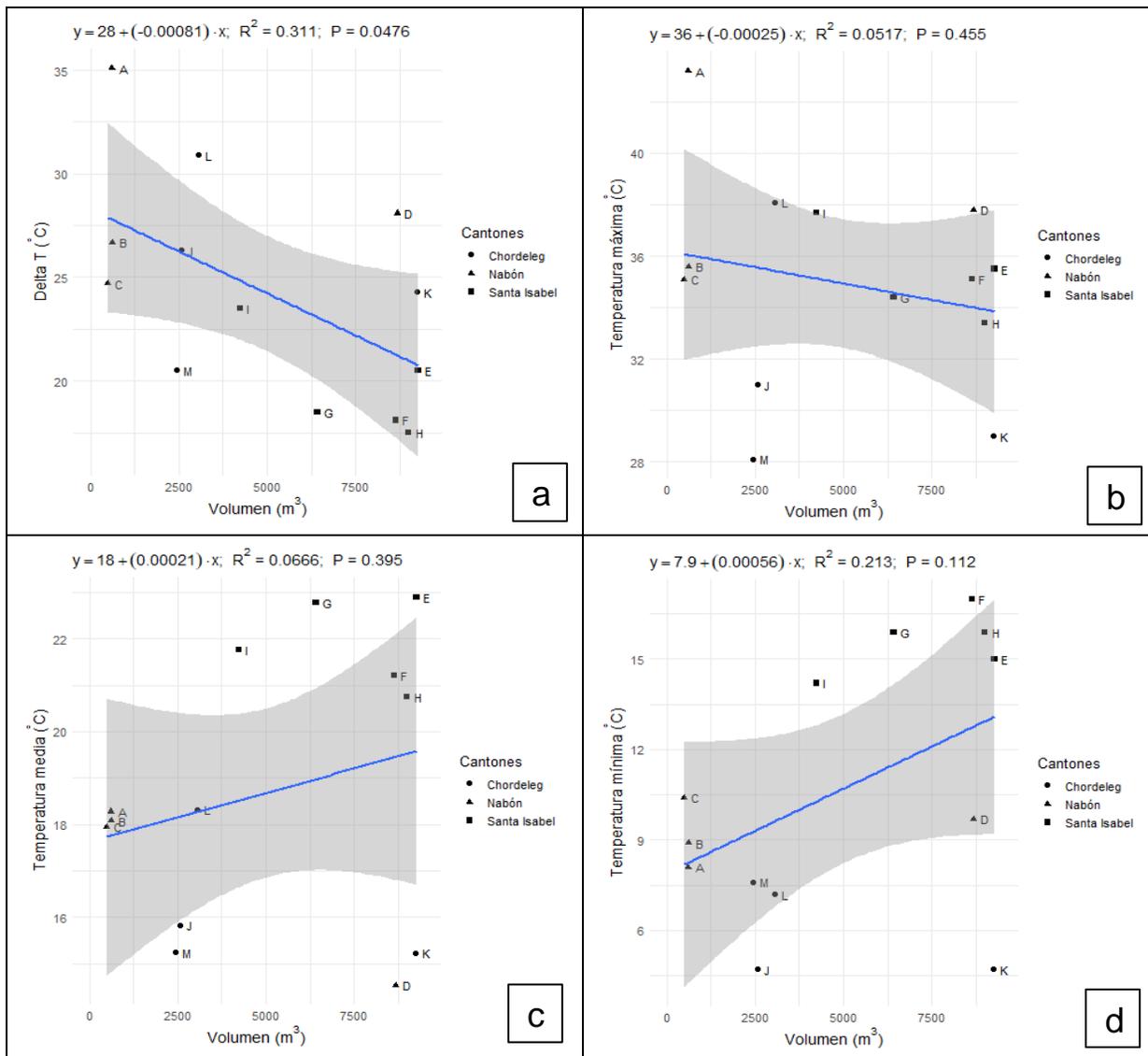


Figura 32. Correlación entre el volumen y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.

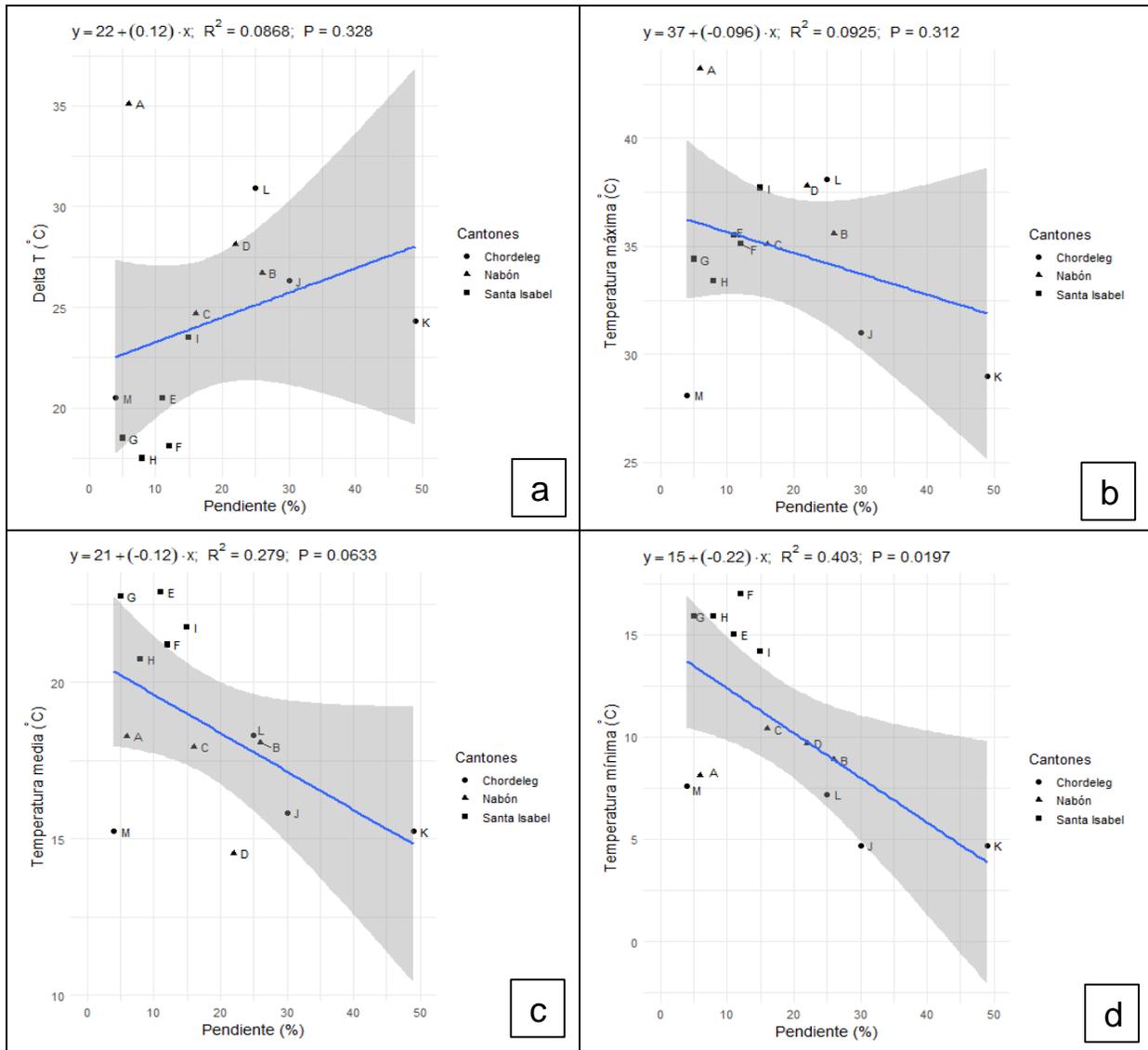


Figura 33. Correlación entre la pendiente y el delta de temperatura (a), temperatura máxima (b), temperatura media (c) y temperatura mínima (d). Ecuación de regresión, intervalos de confianza (al 95%) y coeficiente de determinación (R^2). Valores $p > 0.05$ no muestran significancia.

5.4. Casa Malla

En cuanto a la fisiología del cultivo de tomate en la casa malla, en la Tabla 6 se puede observar los distintos valores registrados para las variables fisiológicas en la casa malla.

Tabla 6. Valores de las variables fisiológicas registradas en la casa malla.

Variables fisiológicas del cultivo	
Nº de frutos en diez plantas	230
\bar{x} altura de planta (m)	2,3
\bar{x} diámetro de frutos (cm)	6,7
\bar{x} diámetro del tallo (cm)	1,2

En esta estructura se registró una temperatura media de 19,6 °C, temperatura máxima de 29,2 °C y temperatura mínima de 17,1 °C. Esta variable expresa variaciones en el interior y exterior de la misma, donde los mayores rangos de temperatura pertenecen al interior, en los cuales se puede observar oscilaciones de aproximadamente 4 °C de temperatura durante el día, mientras que las diferencias de temperatura en el periodo nocturno alcanzan máximo 1 °C (Figura 34).

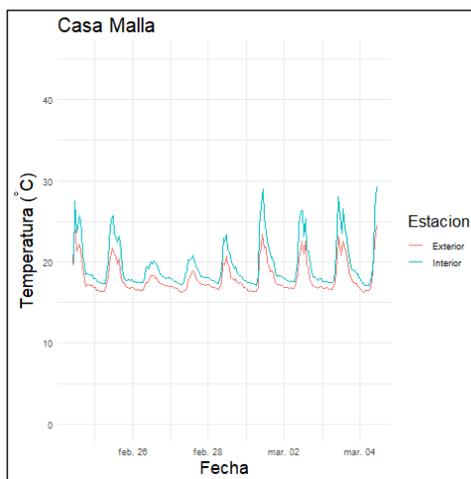


Figura 34. Evolución de la temperatura en el interior y exterior de la casa malla.

La Figura 35 explica que en esta estructura la humedad relativa llega al 100% en el exterior durante la noche, en cambio en el interior se aproximan a este porcentaje. En cuanto a los valores de humedad en el interior durante la noche, se encuentran ligeramente por debajo del 60%.

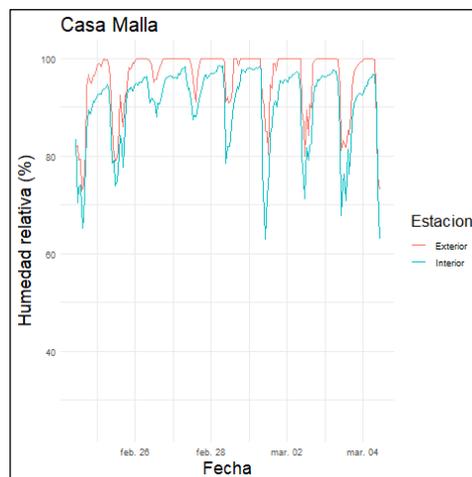


Figura 35. Evolución de la humedad relativa en el interior y exterior de la casa malla.

En la Figura 36 se puede observar que en la parte interior de la estructura los valores máximos del DPV superan el 1 kPa en al menos dos días, lo que significa que sobrepasa el límite óptimo; mientras que en el exterior el valor mínimo del DPV llega hasta el 0 absoluto y en el interior se acerca a este valor, lo cual sugiere que la casa malla se encuentra por debajo del valor mínimo (0,45 kPa) para el desarrollo del cultivo.

La casa malla está ubicada en el sector de Peña Blanca, en la entrada de Santa Isabel, a una altitud de 1437 m.s.n.m. y orientación Norte 272° Oeste. Tiene una construcción del tipo multicapilla con 4 naves, los materiales existentes en su estructura están conformados por tubos redondos galvanizados, arcos de capilla semicircular, sarán y plástico en la parte inferior de las paredes laterales. Posee una superficie de 2322,8 m², volumen de 10422,74 m³ (Tabla 7), volumen unitario de 4,49 m³/ m² y una pendiente de 19%. La altura a la cenital es de 5,2 m, con una abertura de 0,3 m, y la altura a la canal es de 3,1 m (Figura 37).

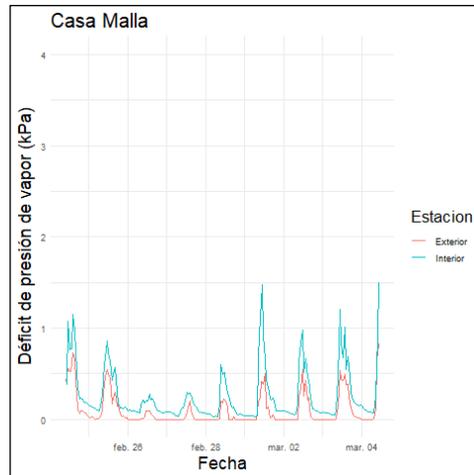


Figura 36. Evolución del DPV en el interior y exterior de la casa malla.

Tabla 7. Valores de las variables de diseño registradas en la casa malla.

Variables de diseño	
Altitud m.s.n.m.	1437
Altura a la cenital (m)	5,5
Área (m ²)	2322,8
Volumen (m ³)	10422,7
Volumen unitario (m ² /m ³)	4,49
Azimut	272°
Pendiente %	19

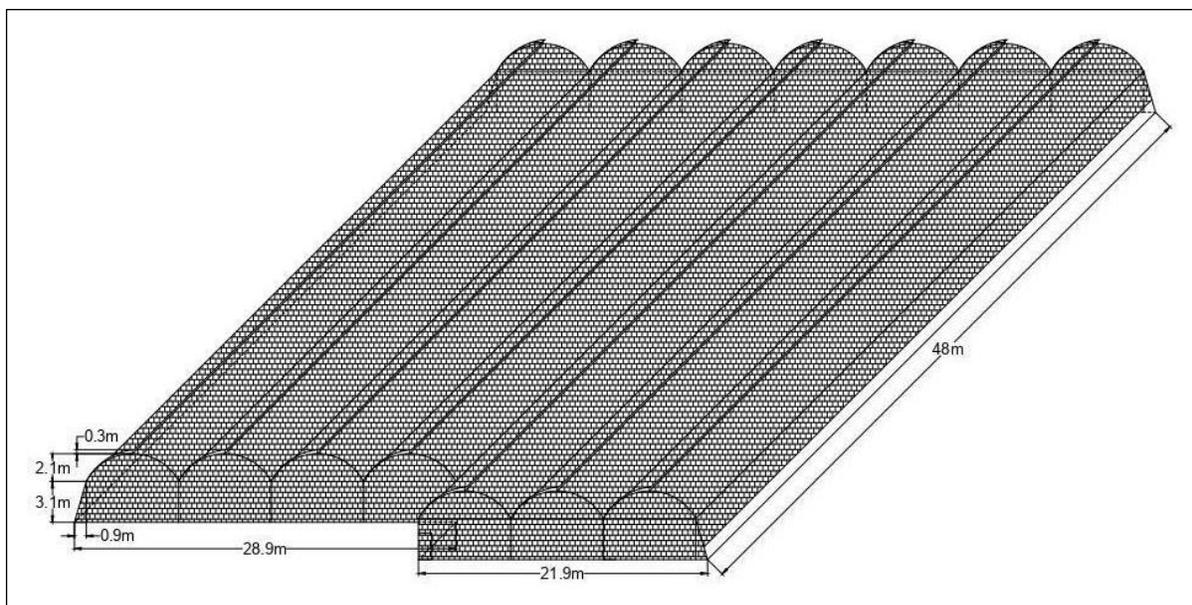


Figura 37. Esquema de la casa malla a escala 1:200.

Discusión

Durante el desarrollo del trabajo de investigación, se ha podido determinar que las temperaturas medias de los invernaderos evaluados variaron entre los 14,54 °C durante la noche y los 22 °C en el día. Estas temperaturas se encuentran dentro del rango óptimo para el cultivo de tomate en su etapa de floración (INIA, 2017) donde recomiendan temperaturas entre 15 °C y 26 °C; mientras que otros estudios realizados reportan que el cultivo puede desarrollarse de manera óptima desde los 20 hasta los 30 °C durante el día y entre 10 a 17 °C durante la noche (Díaz, 2007).

Se ha podido observar que en las zonas de clima templado como Nabón y Chordeleg, con temperaturas medias que abarcan desde los 14 a los 18 °C, contaron con la mayor producción de frutos, obteniéndose hasta más de 700 frutos en uno de los invernaderos, mientras que los invernaderos ubicados en Santa Isabel, con temperaturas medias superiores a los 20 °C, contaban con menor cantidad de frutos, llegando hasta los 201 tomates. La explicación puede radicar en que los factores como la temperatura y la luz son los que más inciden sobre el cultivo. Por ejemplo, una temperatura de 14°C aumenta la producción de flor (y, por ende, de frutos), comparado con temperaturas de 25 a 30°C (Santiago et al., 1989); no obstante, temperaturas medias diurnas superiores a los 26 °C afectan negativamente la formación del grano de polen,

impidiendo el desarrollo normal de los frutos, obteniendo un incremento en la proporción de frutos partenocárpicos (Sato et al., 2001).

En cuanto a la relación que tienen los invernaderos respecto a la ubicación a diferentes altitudes, las temperaturas medias no sobrepasan los 25 °C en todos los invernaderos, lo que se considera ideal para el correcto desarrollo del cultivo. En los invernaderos ubicados en Santa Isabel, al tener un clima cálido, las temperaturas mínimas llegaron hasta los 15 °C, lo cual se encuentra dentro de los rangos óptimos; sin embargo, las temperaturas mínimas de los invernaderos que se ubicaron en las localidades más altas se encontraban por debajo de los 5 °C, lo que puede ocasionar daños en la producción del tomate. En investigaciones realizadas por Díaz et al (2018), donde desarrolló simulaciones computarizadas en invernaderos localizados en altitudes mayores a 2300 m.s.n.m., se demostró que si bien durante el día las temperaturas se pueden elevar a rangos aceptables para el desarrollo de tomate, durante las noches la ganancia térmica no es suficiente para mantenerse dentro de estos rangos y al contrario puede darse una inversión térmica con resultados desfavorables para el cultivo tal como sucede en las zonas de Nabón y Chordeleg. Conforme desciende la altitud se obtiene mayor ganancia térmica durante el día y la noche por lo cual el cultivo se encontrará mayor tiempo dentro del rango óptimo para su desarrollo, esto en zonas de baja altitud como Santa Isabel. En esta situación, es posible que algunos de los problemas para el correcto funcionamiento de las estructuras es la falta de control y optimización de estos, antes que su ubicación (Díaz et al., 2018; Wallace et al., 2012). No obstante, en el presente estudio, los resultados fueron contrarios con menor cantidad de frutos en los invernaderos más cálidos.

Al encontrarse significancia en la relación entre el volumen de los invernaderos con el delta de temperatura se puede comprobar que efectivamente este parámetro influye en su funcionamiento. Lenscak y Iglesias (2019) explican que un invernadero de gran volumen, permite contrarrestar los efectos negativos de una menor inercia térmica o el mayor intercambio de calor con el ambiente externo. En este estudio se destaca la menor inercia térmica del Invernadero A perteneciente a Nabón con 35,1 °C y un volumen de 605 m³, a comparación de los demás invernaderos que tienen un mayor volumen como es el caso del invernadero H con 17,5 °C y un volumen de 9012 m³. Aumentar el número de naves y por ende el volumen de un invernadero deriva en una disminución de la temperatura interna y un aumento de la homogeneidad de la misma (Fatnassi et al., 2017). También se debe tener en cuenta las dimensiones de estas estructuras, ya que a mayor área de transferencia mayor intercambio de calor con el ambiente

externo, por lo cual el dimensionamiento dependerá de factores tales como la disponibilidad de capital (para ventilación o calefacción) o la ubicación.

Si bien se ha determinado una relación significativa entre la pendiente y la temperatura, esta relación puede deberse a una confusión de efectos con el efecto de la altitud con la temperatura, ya que los invernaderos ubicados a mayor altitud, tuvieron también mayores pendientes. En un estudio realizado por Rojas (2015) se determinó una variación no significativa de la temperatura en función de la pendiente en un invernadero con 60% de pendiente, esto tanto para el periodo diurno como para el período nocturno, donde las pequeñas variaciones de temperatura en días específicos se le pueden atribuir a fenómenos naturales tales como el viento y la radiación. De igual forma Rosillo (2020) llegó a la conclusión de que, si bien la orientación y la pendiente pueden influir en la cantidad de radiación recibida en un entorno, y por ende en su temperatura, estos no son los factores principales que pueden explicar la variabilidad térmica. Sin embargo, en un estudio realizado por Villagrán et al (2021) se explica que invernaderos en la región andina de Colombia, construidos en terrenos en ladera (20% de pendiente), presentan una pequeña heterogeneidad de temperatura en secciones del invernadero, donde ha predominado el incremento de temperatura en la zona alta mientras más pronunciada es la pendiente, siendo así un factor influyente en el comportamiento de los flujos de aire.

Los componentes que aportan el funcionamiento y cambio microclimático dentro de los invernaderos; como el área, la altura cenital, el porcentaje de área de ventanas o el volumen unitario no mostraron significancia en los resultados de este trabajo, por lo cual no se asegura que hayan tenido un impacto importante en el desarrollo del cultivo, sin embargo todos los invernaderos a excepción del Invernadero B de Nabón, tienen valores superiores a los $3 \text{ m}^3/\text{m}^2$, valores que según Francescangeli y Mitidieri (2006) generan mayor inercia térmica, recomendando construir invernaderos con mayor altura para conseguir estructuras con mayor volumen unitario. En cuanto a la ventilación, se recomienda contar con un porcentaje de área de ventanas de aproximadamente un 25% respecto a la superficie de cubierta (Okushima et al, 2001), para esta variable se han encontrado porcentajes por debajo del 16% de área de ventanas en algunos invernaderos de Chordeleg y Santa Isabel, los cuales están por debajo del recomendado. Sin embargo, se ha podido observar en los resultados que a pesar de que algunos invernaderos tuvieron un porcentaje superior al 25% de área de ventanas, las temperaturas se mantuvieron altas, mientras que en uno de los invernaderos de Chordeleg, el cual tuvo un porcentaje de 6% de área de ventanas, las temperaturas se encontraban en un rango más bajo. Se resalta que el monitoreo del uso de las ventanas por parte de los productores no fue evaluado,

debido a que no existe un control específico en cuanto al horario de apertura y cierre de ventanas, donde en algunos casos estas no se abrían hasta el medio día o se cerraban incluso en altas horas de la noche.

Conocer la interacción entre la temperatura y humedad permite evaluar el estado microclimático del invernadero, por ejemplo, Rojas (2015) explica que los intervalos de temperatura y humedad fuera del rango óptimo de producción pueden ocasionar daños en la vegetación, aumentar la incidencia de plagas y efectos negativos en el rendimiento final (Rojas, 2015), teniendo en cuenta estas variables, se logró evaluar el déficit de presión de vapor (DPV), parámetro importante para el estudio, puesto que permite conocer las necesidades del cultivo, como la prevención ante la posible aparición de enfermedades, la necesidad hídrica de la planta o explicar la actividad estomática y fotosíntesis. Valores de DVP óptimos para los cultivos se encuentran entre los 0,45 kPa a 1,25 kPa (Beluzan, 2013), en estado de desarrollo vegetativo el DPV recomendado es de 0,85 kPa, mientras que durante la floración es de 1,32 kPa (Connor, 2018). En este estudio, se tomó como referencia el rango óptimo de 0,5-1 kPa, utilizado por Campoverde (2021) en su estudio en la provincia del Azuay, en este caso se encontró que todos los invernaderos no llegan al rango óptimo mínimo de 0,5 kPa la mayor parte del tiempo, es decir, existe inestabilidad en el tiempo que el DPV permanece en los niveles adecuados, lo que impide realizar de manera correcta la fotosíntesis debido al cierre estomático de las plantas (Sánchez, 2007). Otra de las consecuencias que tiene un bajo DPV es la presencia de enfermedades, patógenos fúngicos sobreviven por debajo de los 0,43 kPa, donde la enfermedad puede llegar a ser perjudicial para el cultivo cuando el DPV se encuentra por debajo de 0,2 kPa (Pepper y Ling, 2000). Bertin et al (2000) menciona que, aunque niveles bajos de DPV aumenten la presencia de rajaduras en el fruto, también incide en la disminución de pudriciones apicales en el fruto.

Los invernaderos estudiados también presentaron inestabilidad en cuanto a los rangos superiores, lo que quiere decir que a pesar de que estuvieron por un periodo de tiempo dentro de los óptimos referenciados (1-2 kPa), no se han encontrado en el rango óptimo el tiempo esperado. Con esta particularidad, Mendoza et al (2020) indican que a medida que aumenta el DPV la planta necesita extraer más agua del sustrato a través de las raíces para satisfacer la demanda hídrica y nutrimental, puesto que al tener DPV elevado el aire dentro del invernadero se encontrará seco llevando al cultivo a transpirar agua de manera excesiva y de manera consecuente a cerrar sus estomas para reducir el proceso, finalmente esto perjudica el flujo normal de CO₂, reduciendo el crecimiento vegetal (Diaz, 2022). En cuanto a la humedad relativa, al ser una variable relacionada al DPV, se ha observado que el porcentaje de los invernaderos

ha estado debajo del 60 y por encima del 80%, llegando al 100% en algunos de los casos, es decir, la mayoría de los invernaderos no se encuentra dentro del rango óptimo de 60-80%. Cuando la humedad relativa es menor al 50% la tasa de transpiración se incrementa, causando estrés hídrico en el cultivo lo que limita su productividad, mientras que valores por encima del 90% aumentan la probabilidad de presencia de plagas y enfermedades (Seniger, 2002). Huertas (2008), explica que cuando los valores de humedad son bajos a los recomendados para un cultivo, los estomas de la planta proceden a cerrarse, por lo que se reduce la fotosíntesis, en cambio si la humedad es demasiado alta, existirán problemas de intercambio de gases u obtención de nutrientes, debido a la falta de transpiración del cultivo, además dificulta la polinización debido a que el polen no podría desprenderse de las partes masculinas de la planta.

En el caso de la casa malla, los resultados indican que posee el menor valor en cuanto a temperatura a diferencia de los invernaderos cercanos a este, aunque sigue superando a la temperatura exterior, por lo que se puede interpretar que el material de construcción influye en este parámetro. Una de las diferencias notorias entre una casa malla y un invernadero convencional es el techo, pues la casa malla en vez de tener material de plástico cuenta con un sistema de mallas, por lo que carece de ventana cenital, teniendo como consecuencia un mayor intercambio de gases (Sistemasderiegosv, s.f), aunque al reducir la ventilación, debido a una mayor resistencia al intercambio de aire, se provoca un pequeño aumento en la temperatura del aire en su interior (Tantau y Von Zabeltitz, 2003). Como información adicional, el uso de este tipo de estructuras sería recomendable en periodos secos o en zonas cálidas y generalmente secas (Velazquez et al., 2015), por lo que su uso sería ideal en la zona de Santa Isabel; sin embargo, esto también puede traer desventajas pues su material deja pasar la lluvia, aumentando la humedad, lo que puede ser perjudicial para cultivos como hortalizas, en caso de existir periodos prolongados de lluvia. El DPV resultante en el análisis de la casa malla, indica que, aunque por lo general se encuentra dentro de los rangos óptimos (1 kPa), su rango óptimo mínimo en el interior se encuentra cerca del 0 absoluto, por lo que se corre riesgo con la presencia de enfermedades en el cultivo. Por último, cabe destacar que en esta estructura se presenta el mayor número de frutos del cantón Santa Isabel.

Conclusiones

Para las variables fisiológicas únicamente se encontró significancia en la relación número de frutos y temperatura media, explicando una disminución de frutos conforme aumenta la temperatura como es el caso de la zona de Santa Isabel.

Se determinaron relaciones significativas para tres variables de diseño. A medida que disminuye la altitud, la temperatura mínima y media aumentan y al aumentar la altitud el delta de temperatura tiende a crecer. Al incrementar el volumen de los invernaderos desciende el delta de temperatura, es decir que existe mayor inercia térmica. Existe una relación inversamente proporcional entre la pendiente y la temperatura mínima, pero esta relación puede deberse más bien a un efecto de la altitud ya que existe una correlación directa entre la altitud y la pendiente.

Tanto para los invernaderos ubicados en zonas bajas y en zonas altas no existe un incremento considerable de tiempo de permanencia dentro del rango óptimo de temperatura, incluso en la mayoría la temperatura exterior demuestra encontrarse mayor tiempo dentro del rango óptimo para el cultivo de tomate, si la comparamos con la temperatura interior. Se demuestra de esta forma la falta de optimización de los invernaderos, los cuales no estarían cumpliendo con la función de otorgar un microclima adecuado para el desarrollo del cultivo.

En zonas de mayor altitud y menores temperaturas, como son Nabón y Chordeleg, a pesar de encontrarse los invernaderos en un menor porcentaje dentro del rango óptimo de producción, si lo comparamos con los invernaderos ubicados en Santa Isabel, existe una mayor producción de frutos de tomate.

La humedad relativa se ha encontrado en la mayoría del tiempo, por debajo y encima del rango óptimo para el desarrollo del cultivo de tomate, esto ha influenciado igualmente a los valores del déficit de presión de vapor, en donde se ha encontrado que los invernaderos tienen intervalos de tiempo, los cuales se encuentran dentro de los óptimos, sin embargo estos también fluctúan durante el día llegando a ser perjudiciales para el cultivo, por lo que se pueden generar problemas fitosanitarios, como la presencia de plagas y enfermedades, además de influir negativamente en los procesos fisiológicos de las plantas.

Recomendaciones

Al determinar un efecto negativo sobre la producción del cultivo de tomate en zonas de clima cálido como Santa Isabel, son necesarios estudios en el tema de ventilación, variable relacionada con la apertura y cierre de ventanas, la orientación del invernadero, uso de mallas, etc. Estudiar la implementación y la efectividad de métodos de calefacción pasivos durante el periodo nocturno para zonas andinas de gran altitud como el caso de Chordeleg y Nabón, presenta una oportunidad para mejorar el manejo del cultivo de tomate bajo cubierta en estas zonas.

Debido al aumento de la construcción de invernaderos en pendientes pronunciadas, se debe poner mayor énfasis en la investigación del comportamiento de la temperatura en el sentido de la pendiente, para verificar si efectivamente la temperatura se ve afectada por la pendiente o si se trata de una confusión de efectos con la altitud.

Al encontrar niveles fuera del rango óptimo de humedad y DPV en los invernaderos, el control de estas variables es fundamental, ya sea con un buen manejo de ventilación y de los sistemas de riego, o con la utilización de otras prácticas como la nebulización. Para lograr un mejor diagnóstico de las plantas y su fisiología, es necesario el análisis de variables como la tasa fotosintética o la conductancia estomática, con el fin de obtener mayor respaldo e información para conseguir mejores resultados en la producción del cultivo de tomate.

Por último, al encontrar un establecimiento de la producción de tomate en estructuras tipo malla o casa malla en una localidad de Santa Isabel, un análisis en cuanto a la rentabilidad y productividad permitiría aconsejar o no el uso de estas estructuras.

Referencias

- Abbeya, L y Rao, S. (2017). Differential response of plant species to greenhouse microclimate created by design technology and ambient conditions. *Can. J. Plant Scie*, 1-29.
- Agrinovaseed. (s.f) Top quality seed for the tropic. F1 Kalel.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)*. Roma, Italia: FAO.
- Anjum, S., Xie, X., Wang, L., Saleem, M., Man, C., y Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *Afr. J. Agric. Res.*, 6, 2026–2032.
- Arellano, M., Valera, D., Urrestarazu, M., García, S., Sánchez, A., y Soria, J. (2006). Estudio del microclima en dos subtipos de invernaderos Almería. *Agricultura Técnica en México*, 32 (2), 226-234.
- Bejo. (s.f). Tomate Toivo F1. Recuperado de: <https://www.bejogt.com/tomate/toivo-f1>
- Beluzan, F. (2013). Déficit de presión de vapor (DPV) y factores microclimáticos como herramientas de pronóstico de *Botrytis cinerea* Pers. ex., en *Lactuca sativa* L. bajo invernadero (Tesis de postgrado). Universidad Austral de Chile.
- Berrones, M., Garza, E., Vasquez, E., Méndez, R. (2013). *Casa-malla, tecnología para producción de hortalizas en el sur de Tamaulipas*. México: SAGARPA.
- Bertin, N., S. Guichard, C. Leonardi, J. J. Longuenesse, D. Langlois, & B. Navez. 2000. Seasonal evolution of the quality of fresh glasshouse tomatoes under Mediterranean conditions, as affected by air vapor pressure deficit and plant fruit load. *Ann. Bot.* 85, 741-750.
- Busquets, F y Solomando, S. (2011). Estructura e instalaciones de un invernadero (Tesis de grado). Universitat Politècnica de Catalunya.
- Caiza, G., & Camuendo, Myriam (2011). Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura en los invernaderos de los microempresarios floricultores de la asociación Camino a la Esperanza de la comuna jurídica de Patután, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga (Tesis de pregrado). Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.
- Campoverde, T. (2021). Evaluación de las variables microclimáticas de invernaderos y correlación con variables fisiológicas del tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*) en la zona de Paute-Guachapala (Tesis de grado). Universidad de Cuenca.
- Connor, H. (2018). How well do you understand temperature and relative humidity?. Hortidaily. Recuperado de: <https://www.hortidaily.com/article/9037462/how-well-do-you-understand-temperature-and-relative-humidity/>
- Déleg, M., Merchán, C. (2015). Análisis de las características organolépticas del tomate riñón cultivado en la provincia del Azuay y su aplicación gastronómica (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca.

- Díaz, Alex. (2022). Control automático de déficit de presión de vapor (VPD) mediante nebulización para el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum* en invernadero. (Trabajo de pregrado). Universidad Técnica del Norte. Ibarra. Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/12326/2/04%20MEC%20421%20TRA%20BAJO%20GRADO.pdf>
- Díaz, C. 2007. Caracterización Agro cadena de Tomate. Dirección Regional Central Occidental. M.A.G. Grecia, Costa Rica. 46 p.
- Elitech. (2016). Registrador de datos de temperatura a prueba de agua Elitech. Recuperado de: <https://onlineprnews.com/news/737831-1474552508-elitech-new-water-proof-temperature-data-logger-passed-ce-certification-2016.html/>
- Escamirosa, C., Martínez, G., y Guzmán, D. (2014). *Efecto del déficit de presión de vapor en la producción de tomate de cáscara bajo invernadero*. Tijuana, B.C: Ediciones Ilcsa.
- FAO (2018). FAOSTAT. Rendimiento del tomate. Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Flores, J., Ojeda, W., Villarreal, F., y Rojano, A. (2015). Effect of crops on natural ventilation in a greenhouse evaluated by CFD simulations. *Acta Horti*, 1170: 95-102.
- Fatnassi, H., Boulard, T., Benamara, H., Roy, J.C., Suay, R., Poncet, C. (2017). Increasing the height and multiplying the number of spans of greenhouse: how far can we go?. *Acta horticulture*, 137-143.
- Francescangeli, N., Mitidieri, M. (2006). *El invernadero hortícola. Estructura y manejo de cultivos*. INIA. Estación experimental agropecuaria San Pedro. Argentina. 2da ed. https://inta.gob.ar/sites/default/files/intasp-el_invernadero_horticola.pdf
- Guerra, S. (2015). Participación en la producción de tomate bajo condiciones de casa malla, en el valle de San Juan Ermita, Chiquimula. Sistematización de práctica profesional. (Tesis de pregrado). Universidad Rafael Landívar.
- Groenewegen, J. H. (2002). Edible foliage and fruit crops. *The Netherlands: Elsevier Sciences B. V*, 111-142,
- Gomez Garcia, E. A., Quichimbo Ortiz, B. H. (2019). Propuesta de diseño de invernadero inteligente para el desarrollo de cultivos de hortalizas en el cantón Samborondón (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil.
- 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 pregrado). Escuela Politécnica del Ejército.
- Haro, A., Vásconez, C., y Darío, P. (2018). Diseño y automatización de un invernadero para cultivo de hortalizas orgánicas y tomate riñón (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Huertas, L. 2008. El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. *Revista horticultura*, 205, 52-54.

- INIA. (2017). Manual de Tomate Invernadero. Recuperado de: <https://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/12%20Manual%20de%20Tomate%20Invernadero.pdf>
- Jácome, A. (2018). Evaluación de la calidad y rendimiento de tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum* Mill) proveniente de semilla botánica y esquejes (Tesis de pregrado). Universidad de los Andes.
- Jaimez, R., García, C., Azocar, A., Ramírez, M., y Rada, F. (2005). Relaciones hídricas e intercambio de gases en *Theobroma cacao* var. Guasare bajo períodos de déficit hídrico. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia*, 22 (5), 112-120.
- Jaramillo, N., Rodríguez, P., Guzmán, A., y Zapata, C. (2006). *El cultivo de tomate bajo invernadero*. Antioquia: SAGARPA.
- Junta Parroquial de Cochapata. (2008). Cochapata, una experiencia que contar. Recuperado de: <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/03AM03-010451.pdf>
- Kittas, C., Elvanidil, A., Ferentinos, K., Bartzanas, T., y Katsoulas, N. (2017). Crop temperature measurements for crop water status identification in greenhouses. *Acta Horti*, 1170, 695-702.
- Lenscak, M y Iglesias, N. (2019). *INVERNADEROS Tecnología apropiada en las regiones productivas del territorio nacional argentino*. Argentina: INTA.
- Larín, A., Díaz, L., De Serrano, R. (2018). Cultivo de tomate. *Centro nacional de tecnología agropecuaria y forestal*. El Salvador. 49 p.
- Liang, H., Lukyanov, V., Cohen, S., Shapiro, D., Adler, U., Silverman, D., y Tanny, J. (2017). Microclimate in naturally ventilated tunnel greenhouses: effects of passive heating and greenhouse cover. *Acta Horti*, 1170.
- Lu, N., Nukaya, T., Kamimura, T., Zhang, D., Kurimoto, I., Takagaki, M., Maruo, T., Kozai, T., y Yamoria, W. (2015). Control of vapor pressure deficit (VPD) in greenhouse enhanced tomato growth and productivity during the winter season. *Acta Horti*, 197, 17-23.
- MAGAP. (2010). MAGAP ejecuta “Proyecto de Reactivación de la Caficultura Ecuatoriana”. Recuperado de: <https://www.agricultura.gob.ec/magap-ejecuta-proyecto-de-reactivacion-de-la-caficultura-ecuatoriana/>
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). (2017). Boletín situacional del tomate riñón.
- Murillo, B., Borrego F., y Troyo, E. (2008). Características fisiológicas y rendimiento de 8 cultivares de tomate bajo condiciones experimentales de invernadero. *Revista Internacional de BOTÁNICA EXPERIMENTAL OYTON*, 66 (1), 107-117.
- Marín, P., Valera, D., Molina, F., López, A., Belmonte, L., y Moreno, M. (2016). Influencia de diferentes sistemas de calefacción sobre el desarrollo, producción y calidad de un cultivo de tomate en invernadero. *Información Técnica Económica Agraria*.
- Marín, M. (2013). Diseño de Invernaderos.
- Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Nabón. (2014).

- Prenger, J y Ling, P. (2000). Greenhouse Condensation Control: Understanding and Using Vapor Pressure Deficit (VPD). Ohio State University Extension Fact Sheet. Food, Agricultural and Biological Engineering.
- Qian, T., Dieleman, J., Elings, A., Gelder, A y Marcelis, L. (2015). Response of tomato crop growth and development to a vertical temperature gradient in a semi-closed greenhouse. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 90 (5), 578–584.
- Rho, H., Colaizzi, P., Gray, J., Paetzold, L., Xue, Q., Patil, B., Rush, C. (2020). Yields, Fruit Quality, and Water use in a jalapeno pepper and tomatoes under open field and high-tunnel production systems in the Texas high plains. *HortScience*, 1-10.
- Rojas, H., & Cortés, M. d. (2007). Simulación y control de la temperatura dentro de un invernadero. Recuperado de: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/129
- Rojas, A. (2015). Análisis del comportamiento térmico de un invernadero construido en ladera, aplicando dinámica de fluidos computacional (Tesis de pregrado). Universidad de Costa Rica.
- Rosillo, J. (2020). Análisis del gradiente térmico altitudinal de la zona central de la Serra de Tramuntana (Tesis de pregrado). Universidad de Les Illes Balears.
- Salazar, D., Cuichán, M., Ballesteros, C., Márquez, J. & Orbe, D. (2017). Unidad de estadísticas agropecuarias- Esag 23 p.
- Santiago, J., Mendoza, M., y Borrego, F. (1998). Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en invernadero. Criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía mesoamericana*, 9 (1): 59-65.
- Seniger I. 2002. The Penman-Monteith Evapotranspiration equation as an element in greenhouse ventilation design. *Biosystems Engineering*, 82(4): 423-439.
- SIGTIERRAS. (2015). Memoria técnica Cantón Chordeleg: Cobertura y uso de la tierra de sistemas productivos en zonas homogéneas de cultivo. Recuperado de: http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria_tecnica_Coberturas_CHORDELEG_20150319.pdf
- Silva, J y Tafur, V. (2015). Evaluación de cuatro programas de fertilización foliar complementaria en la producción de tomate riñón (*Solanum lycopersicum*) L. var. Sheila bajo invernadero (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador.
- Sistemasderiegos.com. (s.f). Invernaderos y Casas malla. Recuperado el 11/10/2022 de: <https://sistemasderiegosv.com/construccion-de-invernaderos-casas-malla/>
- Tucci, M., Erismann, N., Machado, E., y Ribeiro, R. (2010). Diurnal and seasonal variation in photosynthesis of peach palms grown under subtropical conditions. *Photosynthetica*, 48, 421–429.
- Van der Ploeg, A y Heuvelink, E. (2005). Influence of suboptimal temperature on tomato growth and yield: a review. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 80, 652–659.

- Varela, A. (2018). Estudio de la producción y comercialización del tomate riñón (*Lycopersicum esculentum*) en el cantón Pimampiro, de la provincia de Imbabura. (Tesis pregrado). Universidad Técnica del Norte.
- Villagran, E., Bojacá, C., Akrami, M. (2021) Contribution to the Sustainability of Agricultural Production in Greenhouses Built on Slope Soils: A Numerical Study of the Microclimatic Behavior of a Typical Colombian Structure. *Sustainability*,13, 4748. <https://doi.org/10.3390/su13094748>
- Wallace, R.W., A.L. Wszelaki, C.A. Miles, J.S. Cowan, J. Martin, J. Roozen, B. Gundersen, and D.A. Inglis. 2012. Lettuce yield and quality when grown in high tunnel and open-field production systems under three diverse climates. *HortTechnology*, 22: 659–668.

Anexos

Anexo A. 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.

Anexo B. Fichas técnicas “Invernadero A”.

FICHA TÉCNICA “INVERNADERO A”

Ubicación	Buravalle, Nabón
Altitud	2300 m.s.n.m.
Orientación del invernadero	64° Noreste
Tipo de invernadero	Capilla
Altura a la canal	2,9 m
Altura a la cenital	5 m
Abertura cenital	0,35 m
Pendiente	6 %
Volumen	605,18 m ³
Área	136,5 m ²
% de área de ventanas	47,06 %
Años de construcción	4 años
Materiales de construcción	Plástico térmico, tubos de hierro galvanizado, malla sarán

INFORMACIÓN DEL CULTIVO

Variedad	Pietro
Número de ejes	2
Marco de Siembra	0,30 m entre plantas x 1 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

Anexo C. Fichas técnicas “Invernadero B”.

FICHA TÉCNICA “INVERNADERO B”

Ubicación	Buravalle, Nabón
Altitud	2400 m.s.n.m.
Orientación del invernadero	340° Noreste
Tipo de invernadero	Capilla
Altura a la canal	2,45 m
Altura a la cenital	4,55 m
Abertura cenital	0,30 m
Pendiente	26 %
Volumen	607,6 m ³ ;
Área	212 m ²
% de área de ventanas	42,45 %,
Años de construcción	3 años
Materiales de construcción	Plástico térmico, madera, tubos de hierro galvanizado, malla sarán

INFORMACIÓN DEL CULTIVO

Variedad	Pietro
Número de ejes	3
Marco de Siembra	0,4 m entre plantas x 1,3 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

Anexo D. Fichas técnicas “Invernadero C”.

FICHA TÉCNICA “INVERNADERO C”

Ubicación	Centro de El Rodeo, Cochapata, Nabón
Altitud	2237 m.s.n.m.
Orientación del invernadero	62° Noroeste
Tipo de invernadero	Capilla
Altura a la canal	2,6 m
Altura a la cenital	4,7 m
Abertura cenital	0,3 m
Pendiente	16%
Volumen	490,5 m ³
Área	156,8 m ²
% de área de ventanas	30,61%
Años de construcción	3 años
Materiales de construcción	Plástico térmico, madera, tubos de hierro galvanizado, malla sarán

INFORMACIÓN DEL CULTIVO

Variedad	Pietro
Número de ejes	2
Marco de Siembra	0,2 m entre plantas x 1 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

Anexo E. Fichas técnicas “Invernadero D”.

FICHA TÉCNICA “INVERNADERO D”

Ubicación	Las Nieves, Nabón
Altitud	2535 m.s.n.m.
Orientación del invernadero	350° Noroeste
Tipo de invernadero	Multicapilla (7 naves)
Altura a la canal	3 m
Altura a la cenital	4 m
Abertura cenital	0,55 m
Pendiente	22 %
Volumen	8695,68 m ³
Área	2165 m ²
% de área de ventanas	17,75 %
Años de construcción	15 años
Materiales de construcción	Plástico térmico, tubos de hierro galvanizado, malla sarán

INFORMACIÓN DEL CULTIVO

Variedad	Sheila
Número de ejes	2
Marco de Siembra	0,4 m entre plantas x 1,3 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

Anexo F. Fichas técnicas “Invernadero E”.

FICHA TÉCNICA “INVERNADERO E”

Ubicación	Dandan, Santa Isabel
Altitud	1527 m.s.n.m.
Orientación del invernadero	62° Noreste
Tipo de invernadero	Multicapilla
Altura a la canal	3 m
Altura a la cenital	5,15 m
Abertura cenital	0,25 m
Pendiente	11 %
Volumen	9282 m ³
Área	2210 m ²
% de área de ventanas	13,66 %
Años de construcción	2 años
Materiales de construcción	Plástico térmico, tubos de hierro galvanizado, malla sarán

INFORMACIÓN DEL CULTIVO

Variedad	Chabelita
Número de ejes	1
Marco de Siembra	0,3 m entre plantas x 1,2 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

Anexo G. Fichas técnicas “Invernadero F”.

FICHA TÉCNICA “INVERNADERO F”

Ubicación	Dandan, Santa Isabel
Altitud	1529 m.s.n.m.
Orientación del invernadero	85° Noreste
Tipo de invernadero	Multicapilla
Altura a la canal	2,8 m
Altura a la cenital	5,25 m
Abertura cenital	0,3 m
Pendiente	12 %
Volumen	8640,96 m ³
Área	2179,2 m ²
% de área de ventanas	33,62%
Años de construcción	12 años
Materiales de construcción	Plástico térmico, tubos de hierro galvanizado, malla sarán

INFORMACIÓN DEL CULTIVO

Variedad	Kalel y Charleston
Número de ejes	2
Marco de Siembra	0,3 m entre plantas x 1,5 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

Anexo H. Fichas técnicas “Invernadero G”.

FICHA TÉCNICA “INVERNADERO G”

Ubicación	Peña blanca, Santa Isabel
Altitud	m.s.n.m.
Orientación del invernadero	340° Noroeste
Tipo de invernadero	Multicapilla
Altura a la canal	3 m
Altura a la cenital	4,8 m
Abertura cenital	0,2 m
Pendiente	5
Volumen	6425,268 m ³
Área	1443,49 m ²
% de área de ventanas	33,62 %
Años de construcción	2 años
Materiales de construcción	Plástico térmico, tubos de hierro galvanizado, malla sarán

INFORMACIÓN DEL CULTIVO

Variedad	Super Kalel
Número de ejes	1
Marco de Siembra	0,4 m entre plantas x 1,8 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

Anexo I. Fichas técnicas “Invernadero H”.

FICHA TÉCNICA “INVERNADERO H”

Ubicación	Peña blanca, Santa Isabel
Altitud	1423 m.s.n.m.
Orientación del invernadero	72° Noreste
Tipo de invernadero	Multicapilla
Altura a la canal	3,9 m
Altura a la cenital	5,8 m
Abertura cenital	0,15
Pendiente	8
Volumen	9012,6 m ³
Área	1792,8 m ²
% de área de ventanas	29,56%
Años de construcción	2 años
Materiales de construcción	Plástico térmico, tubos de hierro galvanizado, malla sarán

INFORMACIÓN DEL CULTIVO

Variedad	Toivo
Número de ejes	1
Marco de Siembra	0,2 m entre plantas x 1,8 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

Anexo J. Fichas técnicas “Invernadero I”.

FICHA TÉCNICA “INVERNADERO I”

Ubicación	Minas de Shurupe, Santa Isabel
Altitud	1590 m.s.n.m.
Orientación del invernadero	323° Noroeste
Tipo de invernadero	Multicapilla
Altura a la canal	2,70 m
Altura a la cenital	4,90 m
Abertura cenital	0,55 m
Pendiente	15 %
Volumen	4230,38 m ³
Área	1139,6 m ²
% de área de ventanas	39,67%
Años de construcción	1 año
Materiales de construcción	Plástico térmico, tubos de hierro galvanizado, malla sarán

INFORMACIÓN DEL CULTIVO

Variedad	San Marzano y Super Kalel
Número de ejes	1
Marco de Siembra	0,2 m entre plantas x 1.8 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

Anexo K. Fichas técnicas “Invernadero J”.

FICHA TÉCNICA “INVERNADERO J”

Ubicación	Principal, Chordeleg
Altitud	2735 m.s.n.m.
Orientación del invernadero	332° Noroeste
Tipo de invernadero	Capilla
Altura a la canal	2,9 m
Altura a la cenital	4,95 m
Abertura cenital	0,30 m
Pendiente	30 %
Volumen	2564,38 m ³
Área	672,4 m ²
% de área de ventanas	25,82 %
Años de construcción	1 año
Materiales de construcción	Plástico térmico, madera, tubos de hierro galvanizado, malla sarán

INFORMACIÓN DEL CULTIVO

Variedad	Elpida
Número de ejes	1
Marco de Siembra	0,4 m entre plantas x 1,2 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

Anexo L. Fichas técnicas “Invernadero K”.

FICHA TÉCNICA “INVERNADERO K”

Ubicación	Principal, Chordeleg
Altitud	2685 m.s.n.m.
Orientación del invernadero	322° Noroeste
Tipo de invernadero	Capilla
Altura a la canal	3,5 m
Altura a la cenital	5,8 m
Abertura cenital	0,40 m
Pendiente	49 %
Volumen	9259,2 m ³
Área	1920 m ²
% de área de ventanas	6,5%
Años de construcción	año
Materiales de construcción	Plástico térmico, tubos de hierro galvanizado, malla sarán

INFORMACIÓN DEL CULTIVO

Variedad	Elpida
Número de ejes	1
Marco de Siembra	0,4 m entre plantas x 1,20 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

Anexo M. Fichas técnicas “Invernadero L”.

FICHA TÉCNICA “INVERNADERO L”

Ubicación	Principal, Chordeleg
Altitud	2656 m.s.n.m.
Orientación del invernadero	56° Noroeste
Tipo de invernadero	Capilla
Altura a la canal	3 m
Altura a la cenital	5,3 m
Abertura cenital	0,50 m
Pendiente	25 %
Volumen	3058,2 m ³
Área	720 m ²
% de área de ventanas	11,81 %
Años de construcción	1 año
Materiales de construcción	Plástico térmico, tubos de hierro galvanizado, malla sarán

INFORMACIÓN DEL CULTIVO

Variedad	Sheila
Número de ejes	1
Marco de Siembra	0,2 m entre plantas x 1,3 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

Anexo N. Fichas técnicas “Invernadero M”.

FICHA TÉCNICA “INVERNADERO M”

Ubicación	Principal, Chordeleg
Altitud	2656 m.s.n.m.
Orientación del invernadero	307° Noreste
Tipo de invernadero	Capilla
Altura a la canal	2,35 m
Altura a la cenital	4,75 m
Abertura cenital	0,30 m
Pendiente	4 %
Volumen	2448 m ³
Área	640 m ²
% de área de ventanas	16,88%
Años de construcción	1,5 años
Materiales de construcción	Plástico térmico, madera, tubos de hierro galvanizado, malla sarán

INFORMACIÓN DEL CULTIVO

Variedad	Pietro
Número de ejes	1
Marco de Siembra	0,2 m entre plantas x 1,3 m entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

Anexo O. Fichas técnicas “Casa malla”.

FICHA TÉCNICA “CASA MALLA”

Ubicación	Peña Blanca, Santa Isabel
Altitud	1437 m.s.n.m.
Orientación del invernadero	272° Noreste
Altura a la canal	3,1 m
Altura a la cenital	4,75 m
Abertura cenital	0,30 m
Pendiente	19 %
Volumen	10422,7 m ³
Área	2322,8 m ²
Años de construcción	2 años
Materiales de construcción	Plástico térmico, tubos de hierro galvanizado, malla sarán

INFORMACIÓN DEL CULTIVO

Variedad	Toivo- Super kalel
Número de ejes	1
Marco de Siembra	0,2 m entre plantas x 1,8 m entre hileras - 0,4 m entre plantas x 1,8 entre hileras
Sistema de riego	Por goteo

Anexo P. Registro fotográfico trabajo de campo



Instalación de los sensores Elitech RC-51 en el interior y exterior de los invernaderos.



Toma de datos de las variables fisiológicas



Medición de las variables de diseño de invernaderos