

Área del Conocimiento de Agricultura

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO PRODUCTIVO DE 2 ESPECIES DE HORTALIZAS CULTIVADAS EN INVERNADERO AUTOMATIZADO UTILIZANDO FERTIRIEGO FAE-UNI 2023

Trabajo monográfico para optar al título de
Ingeniero Agrícola

Elaborado por:

Br. Allan Gabriel Palma
Guevara
Carnet:2019-0681U

Br. Juan José
García López
Carnet:2018-0855U

Br. Mikel Constantino
Palma Guevara
Carnet:2018-0685U

Tutor:

MSc. José Mamerto
Méndez Úbeda

28 de octubre de 2024
Managua, Nicaragua

Dedicatoria

Dedico este trabajo monográfico primeramente a Dios y la Virgen del Trono por permitirme culminar mi carrera universitaria. Darle la vida el conocimiento y la fortaleza para sobre llevar cada una de las situaciones y lograr cada uno de mis objetivos.

A mis padres quienes han sido un pilar fundamental que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades.

A mí (Tita) y mi Tío Carlos (q.e.p.d) este triunfo va por ustedes, me encantaría mucho poder compartir personalmente este momento con mucha alegría, pero sé que desde el cielo están muy orgullosos

A mis compañeros de monografía Juan García y Mikel Palma por cada uno de los aportes y dedicación para que esta investigación se convirtieran en un éxito.

“La felicidad está en la alegría del logro y la emoción del esfuerzo creativo”

(Franklin D. Roosevelt)

Allan Gabriel Palma Guevara

Dedicatoria

Con un corazón lleno de gratitud, quiero dedicar esta tesis monográfica a quienes han sido pilares fundamentales a lo largo este camino.

A Dios todo poderoso, por ser el pilar fundamental en mi vida, por su infinito amor, guía y bendiciones. Gracias por otorgarme la fortaleza, sabiduría y las oportunidades para alcanzar mis sueños.

A mi familia mi fuente de fortaleza incondicional. A mi padre Luis Santos García, ya que “con cada paso de sus pies, mi futuro se abrió camino”, ejemplo de trabajo duro y perseverancia, por su apoyo constante y por ser la fuente de inspiración que me impulsó a alcanzar mis sueños. A mi madre Martha Lorena López, ya que ella ha sido el ángel que me ha ayudado a seguir todo este tiempo en los procesos más difíciles de la vida, fuente de fortaleza e inspiración, para seguir luchando por mis metas y anhelos, te amo con todo mi corazón.

A mis hermanos Luis Fernando García y pedro Luis García, parte fundamental de mi vida, compañeros de vida, sé que, sin importar la distancia o las circunstancias, siempre estarán ahí para mí, celebrando mis triunfos y consolándome en mis derrotas, están en mi corazón. A mis 3 grandes amigos y hermanos viriles que me dejo esta aventura llamada universidad, Norlan Herrera, Allan Palma y Mikel Palma inseparables amigos, son más que amigos, son parte de mi historia y han dejado una huella imborrable en esta etapa de mi vida.

También dedico este logro a cada uno de mis abuelitos, que son como segundos padres para mí, de igual manera a cada una de mis tías por ser parte de este proceso, a mis profesores, por compartir sus conocimientos y por motivarme a dar lo mejor de mí. A mis distintos amigos a lo largo de estos 5 años, por su aliento y su comprensión. Dedicado a cada uno de ustedes por ser parte de este logro y por hacer que este viaje haya sido tan increíble y especial para mí.

Juan José García López

Dedicatoria

A mis padres

Por su amor incondicional, apoyo inquebrantable y por ser el pilar fundamental en mi vida. Gracias por creer en mí siempre, por impulsarme a perseguir mis sueños y por enseñarme el valor del trabajo duro y la perseverancia. A ustedes, con todo mi amor y gratitud, dedico este trabajo.

A mi familia

Por su comprensión, paciencia y por estar siempre presentes en los momentos más importantes. Gracias por sus palabras de aliento y por compartir conmigo la alegría de este logro.

A mis amigos

Por su compañerismo, apoyo y por hacer de este camino una experiencia memorable. Gracias por las risas, los consejos y por creer en mi potencial.

A mis profesores

Por su guía, conocimiento y por haberme inspirado a explorar el mundo del saber. Gracias por compartir su pasión por la investigación y por motivarme a dar lo mejor de mí.

A Dios

Por ser la luz que ilumina mi camino y por darme la fuerza para seguir adelante. Gracias por tus bendiciones y por permitirme alcanzar este sueño.

Mikel Constantino Palma Guevara

AGRADECIMIENTO

A Dios y la Virgen del Trono en primer lugar agradezco por ser mis guías y sostén en la realización de mis proyectos y metas, por ser quienes me dan la sabiduría y capacidad para poder desarrollarme en mi formación académica. Y por haberme permitido llegar hasta este punto y darme la salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres por siempre motivarme a salir adelante y acompañarme en los buenos y malos momentos

A nuestro tutor MSc. Ing. José Méndez por brindarnos sus invaluable aportes en esta investigación.

Allan Gabriel Palma Guevara

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a Dios Todopoderoso por llenarme de la sabiduría necesaria y por guiarme durante esta etapa crucial de mi carrera profesional. Quiero también reconocer a todas las personas que estuvieron a mi lado y me apoyaron a lo largo de este proceso. En especial, agradezco a mi padre Luis García y a mi madre Martha López, también a mis queridos hermano, Luis Fernando García y Pedro Luis García, a cada uno de ellos por su apoyo incondicional, sus consejos sabios y los valores que me han transmitido han sido fundamentales para alcanzar este logro. Estoy seguro de que la confianza que depositaron en mí y los sacrificios que hicieron les permitirán sentirse profundamente orgullosos de este éxito que ahora celebramos juntos.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis abuelitos, que han sido como segundos padres para mí. Su amor, sabiduría y constante apoyo han sido una guía invaluable a lo largo de mi vida. De igual manera, agradezco de corazón a mis tías, quienes me han acompañado y apoyado en cada etapa de este proceso, siendo un pilar fundamental en mi camino. También extiendo mi gratitud a mis profesores, por su dedicación al compartir sus conocimientos y por su capacidad de motivarme a siempre dar lo mejor de mí.

El éxito de este trabajo ha sido posible gracias a un arduo esfuerzo y una dedicación constante. Por ello, quiero reconocer especialmente a mis compañeros Allan Palma y Mikel Palma cuya colaboración y compromiso fueron fundamentales. También deseo expresar mi profundo agradecimiento a nuestro tutor, el MSc. Ing. José Mamerto Méndez Úbeda, de igual manera al ingeniero Leoncio Vanegas Carrero, por su invaluable tiempo y paciencia a lo largo de todo el proceso de esta tesis. Asimismo, quiero agradecer a mis compañeros y amigos por los momentos compartidos y por las experiencias maravillosas que vivimos juntos como estudiantes. Cada uno de ustedes ha dejado una huella en este camino y en este logro que ahora celebramos.

“Aquellos que se atreven a soñar en grande y a perseguir sus sueños con pasión son los que cambian el mundo.”- Anónimo

Juan José García López

AGRADECIMIENTO

Al finalizar este trabajo, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera a su realización.

A mi tutor, MSc. Ing. José Mamerto, por su invaluable guía, paciencia y por sus valiosas sugerencias. Gracias por creer en mi proyecto y por ayudarme a convertirlo en una realidad.

A mis compañeros de investigación, **Allan Palma y Juan García**, por su colaboración, apoyo y por compartir conmigo este proceso de aprendizaje. Gracias por su trabajo duro y por su dedicación.

A todas las personas que han compartido conmigo su tiempo, conocimiento y experiencia. Agradezco profundamente su apoyo y sus palabras de aliento.

Finalmente, quiero agradecer a todas las personas que han formado parte de mi vida y que han contribuido a mi formación personal y profesional.

"La mejor manera de predecir el futuro es crearlo." - Abraham Lincoln

Mikel Constantino Palma Guevara

RESUMEN

El cambio climático y la incidencia de plagas y enfermedades han impactado negativamente en el rendimiento productivo de los cultivos, particularmente en hortalizas a campo abierto. En consecuencia, en Nicaragua se está popularizando el cultivo de hortalizas en ambientes protegidos. Este enfoque se ha convertido en una alternativa rentable y sostenible para los productores, ya que estos sistemas permiten un mejor control de plagas y enfermedades, un mejor manejo de los factores ambientales, menores costos de producción y un uso eficiente del agua y nutrientes, lo que resulta en una mayor productividad y calidad de los cultivos.

Resulta relevante evaluar el comportamiento productivo de dos especies vegetales cultivados en un invernadero automatizado localizado en la UNI, con el objetivo de determinar su adaptabilidad a las condiciones Edafoclimáticas del invernadero. Se determinaron una serie de parámetros del suelo en el invernadero y se monitorearon variables climáticas dentro del invernadero, como temperatura y humedad relativa. En invernadero se establecieron dos especies vegetales: tomate (*Solanum lycopersicum*) y pimienta (*Capsicum annuum*).

Se midieron diversas variables de desarrollo y cosecha y posteriormente se analizaron estadísticamente. Los resultados obtenidos en las condiciones de invernadero mostraron que ambos cultivos tuvieron buen desarrollo vegetativo; sin embargo, las altas temperaturas diurnas al interior del invernadero (38°C) provocaron aborto floral en el cultivo de tomate, indicando que esta especie no se adapta bien a las condiciones Edafoclimáticas. En cambio, el cultivo de pimienta rindió un promedio de 40 frutos por planta, con un peso de 79,34 gramos, lo que resultó en una productividad de 32.900 kg/ha.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	ANTECEDENTES.....	2
III.	JUSTIFICACIÓN	4
IV.	OBJETIVOS.....	5
	4.1 Objetivo general	5
	4.2 objetivos específicos	5
V.	MARCO TEORICO	6
	5.1 Invernadero	6
	5.1.1 Manejo del clima en el invernadero hortícola	7
	5.1.3 Condiciones del invernadero.....	8
	5.2 Invernadero automatizado	12
	5.2.1 Condiciones del invernadero automático	13
	5.3 Fertirriego.....	14
	5.3.1 Dosis.....	15
	5.4 Importancia y generalidades del cultivo del Tomate	16
	5.4.1 Importancia económica del Tomate a nivel mundial.....	17
	5.6.2 Importancia del cultivo de Tomate en Nicaragua.....	18
	5.6.3 Clasificación y taxonomía del cultivo de Tomate	20
	5.6.4 Características morfológicas del cultivo de Tomate	20
	5.6.5 Hábitos de crecimiento	23
	5.6.5 Condiciones edafoclimáticas del cultivo de Tomate	24
	5.6.6 Labores culturales.....	27
	5.6.6 Variables descriptoras del cultivo de Tomate Pachuca F1.....	27

5.7 Importancia y generalidades del cultivo de Pimiento	29
5.7.1 Importancia económica del pimiento a nivel mundial	30
5.7.2 Importancia del Pimiento en Nicaragua.....	32
5.7.3 Clasificación taxonómica del cultivo del Pimiento.....	32
5.7.4 Características morfológicas del cultivo de Pimiento.....	33
5.7.5 Condiciones edafoclimáticas del cultivo de Pimiento	36
5.7.6 Labores culturales	39
5.7.6 Variables descriptoras del cultivo de Pimiento caudillo F1	44
5.8 Fertilizante.....	44
5.8.1 Fertilizantes orgánicos	45
5.8.2 Fertilizantes químicos	45
5.9 Ingresos	46
5.9.1 Costos	46
5.9.2 Utilidades	46
VI. HIPÓTESIS.....	47
6.1 Hipótesis de la investigación (Hi)	47
6.2 Hipótesis alternativa (Ha).....	47
6.3 Hipótesis nula (H0)	47
VII. DISEÑO METODOLÓGICO.....	48
7.1 Tipo de la investigación.....	48
7.1.1 Según el enfoque	48
7.1.2 Según el alcance	48
7.1.3 Según el tiempo de ocurrencia.....	48
7.2 Localización del proyecto.....	49
7.2.1 Macro localización	49

7.2.2 Micro localización.....	50
7.3 Condiciones edafoclimáticas en el invernadero automatizado	50
7.3.1 Temperatura	50
7.3.2 Humedad relativa	51
7.3.3 Humedad del suelo.....	52
7.3.4 Determinación de las propiedades físico-químicas	53
7.4 Determinación de la adaptabilidad de dos especies de hortalizas en invernadero automatizado.....	55
7.4.1 Diseño experimental	55
7.4.2 Variable respuesta.....	56
7.4.3 Variables de desarrollo	56
7.4.4 Variables de Cosecha	57
7.5 Determinación de los costos de producción y rentabilidad de los cultivos establecidos	60
7.5.2 Costos de producción	60
7.5.3 Utilidades del proyecto	60
VIII. RESULTADOS Y DISCUSION	62
8.1 Resultados de las condiciones edafoclimáticas dentro del invernadero automatizado.....	63
8.1.2 Humedad relativa	68
8.1.3 Humedad del suelo	77
8.1.4 Determinación de las propiedades físico-químicas	80
8.2 Resultados de las variables de respuesta (Desarrollo y Cosecha)	84
8.2.1 Análisis de las variables de desarrollo del cultivo de tomate a los 25 DDS y a los 50 DDS.	85
8.2.2 Análisis de las variables de cosecha del cultivo de tomate	100

8.2.3 Análisis de las variables de desarrollo del cultivo de pimiento a los 25 DDS y a los 50 DDS.	105
8.2.4 Análisis de las variables de cosecha del cultivo de Pimiento F1.	119
8.3 Análisis de los costos e ingresos para la determinación de la utilidad del proyecto	130
8.3.1 Costos	131
8.3.2 Ingresos	135
IX. CONCLUSIONES	137
X. RECOMENDACIONES	138
XI. Bibliografía	139
XII. ANEXOS DE TABLAS.....	i
XIII. ANEXO DE FIGURAS.....	xiv

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación visual de un invernadero	7
Figura 2. Representación visual del sistema de ventilación natural en un invernadero	10
Figura 3. Representación visual del sistema de sombreado del invernadero automatizado FAE-UNI.	10
Figura 4. Acolchado plástico del suelo (mulching - mulch), invernadero automatizado (FAE-UNI).	11
Figura 5. Representación visual de las instalaciones del invernadero automatizado (FAE-UNI).	12
Figura 6. Esquema de control por planificación de ganancias aplicado para controlar la temperatura diurna del aire en el interior de un invernadero automatizado mediante ventilación natural	14
Figura 7. Representación visual de instalaciones de fertirriego.....	16
Figura 8. Producción de tomate fresco en la región centroamericana.	19
Figura 9. Sistema radicular de una planta de tomate	20
Figura 10. Tallo de una planta de tomate	21
Figura 11. Representación visual de las hojas de tomate	21
Figura 12. Representación visual de la floración en las plantas de tomate	22
Figura 13. Representación visual de los frutos de tomate	22
Figura 14. Representación visual de los hábitos de crecimiento en una planta de tomate	24
Figura 15. Representación visual de un higrómetro	26
Figura 16. Producción mundial de Pimiento 2021.	31
Figura 17. Sistema radicular de una planta de Pimiento	33
Figura 18. Tallo de una planta de Pimiento a los 25 días después de la siembra	34
Figura 19. Follaje de una planta de Pimiento F1	34
Figura 20. Planta de pimiento F1 en etapa de floración	35
Figura 21. Frutos de una planta de pimiento	36
Figura 22. Instrumento para medir las variables climáticas en invernadero	37
Figura 23. Aporcado de surcos de Pimiento	39
Figura 24. Representación visual de del proceso de poda	40

Figura 25. Representación visual de los tutores utilizados en el cultivo de Pimiento	41
Figura 26. Planta que se le realizara un proceso de deshojado	41
Figura 27. Representación visual de raleo de frutos y flores	42
Figura 28. Cuaje de los Frutos	42
Figura 29. Planta en estado de cosecha	43
Figura 30. Aplicación de abono orgánico a una plántula	45
Figura 31. Aplicación de abono químico a una plántula	45
Figura 32. Macro localización	49
Figura 33. Micro localización.....	50
Figura 34. Instalaciones del invernadero automatizado	62
Figura 35. Temperaturas registradas antes de la nebulización	63
Figura 36. Temperaturas registradas después de 30 minutos de nebulización	65
Figura 37. Comparación de las temperaturas registradas antes y después de la nebulización.....	67
Figura 38. Temperaturas promedias diurnas, durante 60 días de monitoreo y registro	68
Figura 39. Registro de humedad relativa promedio antes de la nebulización, tomadas en tres horas del día	69
Figura 40. Registro de humedad relativa promedio después de la nebulización, tomadas en tres horas del día	71
Figura 41. Comparación de la humedad relativa promedio registradas antes y después de la nebulización	72
Figura 42. Humedad relativa promedio diurna, durante 60 días de monitoreo y registro	74
Figura 43. Humedad del suelo promedio	78
Figura 44. Cultivo de hortalizas (tomate y pimiento), bajo condiciones controladas	85
Figura 45. Plantación de tomate Pachuca F1.....	85
Figura 46. Variable de desarrollo altura de la planta, tomados a los 25 (DDS)	86
Figura 47. planta de tomate Pachuca F1, a los 25 días después de la siembra.....	87
Figura 48. Variable de desarrollo altura de la planta 50 (DDS).....	88
Figura 49. planta de tomate Pachuca F1, a los 50 días después de la siembra.....	89
Figura 50. Variable de desarrollo diámetro de la planta	90
Figura 51. Medición del diámetro de la planta a los 25 días después de la siembra	91

Figura 52. Variable de desarrollo diámetro del tallo a los 50 DDS.....	91
Figura 53. Medición del diámetro de la planta a los 50 días después de la siembra	92
Figura 54. Variable de desarrollo número de hojas	93
Figura 55. Contabilización del número de hojas por planta a los 25 días después de la siembra.....	94
Figura 56. Variable de desarrollo número de hojas	94
Figura 57. Numero de hojas de una planta de tomate	95
Figura 58. Ancho de la hoja promediado por surco a los 25 DDS	96
Figura 59. Variable ancha de la hoja por planta promediada por surco.....	97
Figura 60. Variable de desarrollo largo de la hoja	98
Figura 61. Variable de desarrollo largo de la hoja	99
Figura 62. Comparación de las temperatura mínima y máxima con los rangos óptimos para el desarrollo y fructificación de la planta de tomate	101
Figura 63. Factores edafoclimáticos dentro del invernadero	102
Figura 64. Plantas de tomate expuestas a altas temperaturas dentro del invernadero	103
Figura 65. Humedad relativa máxima y mínima obtenida en promedio comparada con los valores óptimos.....	104
Figura 66. Desarrollo que obtuvieron los frutos de tomate Pachuca f1	105
Figura 67. Plantación de Pimiento F1.	105
Figura 68. Variable de desarrollo altura de la planta	107
Figura 69. Planta de Pimiento F1 a los 25 DDS	108
Figura 70. Variable de desarrollo altura de las plantas.....	108
Figura 71. Planta de Pimiento F1	109
Figura 72. Variable de desarrollo diámetro del tallo (mm)	110
Figura 73. Variable de desarrollo diámetro del tallo (mm)	111
Figura 74. Variable de desarrollo número de hojas de la planta.....	112
Figura 75. Variable de desarrollo número de hojas de la planta.....	113
Figura 76. Variable de desarrollo ancho de la hoja (cm)	115
Figura 77. Variable de desarrollo ancho de la hoja (cm)	116
Figura 78. Variable de desarrollo largo de la hoja de la planta (cm)	117

Figura 79. Variable de desarrollo largo de la hoja de la planta (cm)	118
Figura 80 Acopio de todos los frutos cosechados en el primer corte.....	120
Figura 81. Variable de cosecha ancho del fruto (cm)	121
Figura 82 Toma de la variable de cosecha ancho del fruto	122
Figura 83. Variable de cosecha largo del fruto	122
Figura 84. Toma de la variable largo de fruto.....	124
Figura 85. Variable de cosecha peso del fruto	124
Figura 86. Toma del peso del fruto (gr)	125
Figura 88. Plano de vista general de las instalaciones del invernadero automatizado FAE-UNI	xiv
Figura 89. Plano de alzados frontales y laterales generales de las instalaciones del invernadero automatizado FAE-UNI	xv
Figura 90. Vista de planta de las instalaciones del invernadero automatizado FAE-UNI	xvi
Figura 91. Realización de labores culturales	xvii
Figura 92. Realización de labores culturales	xvii
Figura 93. Instalación del sistema de riego de doble cinta	xvii
Figura 94. Instalación del plástico mucho	xvii
Figura 95. Frente del invernadero automatizado.....	xviii
Figura 96. Registro de la variable edafoclimática humedad relativa	xviii
Figura 97 . Registro de las variables edafoclimáticas.....	xviii
Figura 98. Registro de la variable edafoclimática.....	xviii
Figura 99. Trasplante de plántulas.....	xix
Figura 100. Plantación de tomate con la ayuda de tutores.....	xix
Figura 101. Levantamiento de datos a los 25 días después de la siembra	xix
Figura 102. Floración de las plantas de tomate.....	xix
Figura 103. Planta en estado de cosecha	xx
Figura 104. Medición del largo del fruto	xx
Figura 105. Levantamiento de datos	xx
Figura 106. Medición de la altura de la planta.....	xx
Figura 107. Frutos listos para ser trasladados al acopio	xxi

Figura 108. Acopio de la primera cosecha	xxi
Figura 109. Registro del peso del fruto	xxi
Figura 110. Frutos maduros listos para ser cosechados	xxi
Figura 111. Ficha técnica de las variables descriptoras del Tomate Pachuca F1.....	xxii
Figura 112. Ficha técnica de las variables descriptoras del Pimiento Caudillo F1.....	xxiii

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Superficie y volumen de tomate producido por país en el 2011*.	18
Tabla 2. Taxonomía del cultivo de Tomate (<i>Solanum S. lycopersicum</i>).	20
Tabla 3. Valores óptimos de temperatura en distintos cultivos	25
Tabla 4. Niveles de distintos parámetros climáticos determinados para tomate	26
Tabla 5. Variables descriptoras del híbrido tomate Pachuca F1	28
Tabla 6. Taxonomía del cultivo de Pimiento (<i>Capsicum annum</i>)	32
Tabla 7. Valores de temperatura (C°) para el cultivo de Pimiento	37
Tabla 8. Niveles de distintos parámetros climáticos determinados para Pimiento	38
Tabla 9. Variables descriptoras del híbrido Pimiento Caudillo F1	44
Tabla 10 Comparación de los resultados finales promediados de las variables edafoclimáticas con los valores óptimos para cada cultivo.	80
Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos	80
Tabla 12. Resultados finales promedio de las variables de desarrollo a los 25 (DDS) Y 50(DDS)	100
Tabla 13. Resultados finales promedios del cultivo de pimiento registrado en las 48 plantas muestreadas a los 25 DDS Y 50 DDS	119
Tabla 14. Promedio de los valores obtenidos de las variables de cosecha	126
Tabla 15. Resume de resultados obtenidos del análisis del rendimiento productivo ..	130
Tabla 16. Costos de materiales e insumos.	131
Tabla17 Costos de materiales e insumos.	132
Tabla 18.Costos de Producción Tomate	133
Tabla 19.Costos de Producción Pimiento	134
Tabla 20. Datos de temperatura promediados registrando durante 60 días antes y después de la nebulización.	i
Tabla 21. Datos de humedad relativa promediados registrando durante 60 días antes y después de la nebulización.	iii
Tabla 22. Datos de las variables de desarrollo levantados a los 25 días después de la siembra en el cultivo de tomate.	v
Tabla 23. Datos promediados de la variable de desarrollo altura de la planta en las dos naves de tomate	vi

Tabla 24. Datos promediados de la variable de desarrollo diámetro de la planta en las dos naves de tomate.....	vii
Tabla 25. Datos promediados de la variable de desarrollo número de hojas de la planta en las dos naves de tomate	vii
Tabla 26. Datos promediados de la variable de desarrollo ancho de la hoja de la planta en las dos naves de tomate	vii
Tabla 27. Datos promediados de la variable de desarrollo largo de la hoja de la planta en las dos naves de tomate	viii
Tabla 28. Datos de las variables de desarrollo levantados a los 50 días después de la siembra en el cultivo de tomate.....	viii
Tabla 29. Datos promediados de la variable de desarrollo altura de la planta en las dos naves de tomate	ix
Tabla 30. Datos promediados de la variable de desarrollo diámetro de la planta en las dos naves de tomate.....	x
Tabla 31. Datos promediados de la variable de desarrollo número de hojas de la planta en las dos naves de tomate	x
Tabla 32. Datos promediados de la variable de desarrollo ancho de la hoja de la planta en las dos naves de tomate	x
Tabla 33. Datos promediados de la variable de desarrollo largo de la hoja de la planta en las dos naves de tomate	xi
Tabla 34. Datos promediados de las variables de desarrollo levantados a los 25 días después de la siembra en el cultivo de pimiento	xi
Tabla 35. Datos promediados de las variables de desarrollo levantados a los 50 días después de la siembra en el cultivo de pimiento	xii
Tabla 36. PROMEDIO DE LAS DOS NAVES DE PIMIENTO VARIABLE ANCHO DEL FRUTO	xii
Tabla 37. PROMEDIO DE LAS DOS NAVES DE PIMIENTO VARIABLE LARGO DEL FRUTO	xii
Tabla 38. PROMEDIO DE LAS DOS NAVES DE PIMIENTO VARIABLE PESO (gr) ...	xiii
Tabla 39. Numero de cortes detallados.....	xiii

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Volumen de la muestra	53
Ecuación 2. Densidad aparente	53
Ecuación 3. Densidad real	53
Ecuación 4. Porosidad	54
Ecuación 5. Capacidad de campo	54
Ecuación 6. Punto de marchitez permanente	54
Ecuación 7. Área del terreno	57
Ecuación 8. Número de plantas por surco	57
Ecuación 9. Número total de plantas	57
Ecuación 10. Número total de plantas muestreadas	57
Ecuación 11. Fruto por planta	58
Ecuación 12. Peso total de planta	58
Ecuación 13. Rendimiento total	58
Ecuación 14. Rendimiento por metro cuadrado	58
Ecuación 15. Proyección del rendimiento a una hectárea	59
Ecuación 16. Rendimiento productivo en toneladas/hectárea	59
Ecuación 17. Peso promedio de la malla	60
Ecuación 18. Peso total por planta	60
Ecuación 19. Peso total de producción	60
Ecuación 20. Número total de malla cosechadas	60
Ecuación 21. Ingresos totales	61
Ecuación 22. Utilidades	61

I. INTRODUCCIÓN

Nicaragua es un país que cuenta con un clima tropical y una variedad de suelos lo que favorece las condiciones edafoclimáticas para el establecimiento y desarrollo de diversas variedades de hortalizas, sin embargo, el cambio climático y la puesta en práctica de una agricultura convencional para maximizar la producción agrícola han influido de manera negativa en el rendimiento productivo de los cultivos (Zeledon, 2016).

La tecnología en la agricultura ha avanzado favoreciendo a nuevas alternativas de producción, como lo es la agricultura protegida, una alternativa sostenible y rentable para la producción en ambientes controlados, mejorando la calidad de los cultivos, optimización del agua y fertilizantes, de esta manera se aporta a proteger el medio ambiente y asegurar la producción agrícola (Zeledon, 2016).

En Nicaragua, el cultivo de hortalizas en invernaderos automatizados utilizando fertirriego se ha convertido en una alternativa rentable y sostenible para los productores agrícolas. Este sistema permite un mayor control de los factores ambientales, reducción de los costos de producción y un uso eficiente del agua y los nutrientes, lo que se traduce en una mayor productividad y calidad de los cultivos. En este sentido, resulta relevante evaluar el rendimiento productivo de diferentes especies de hortalizas en invernaderos automatizados con fertirriego, con el objetivo de identificar las mejores prácticas para optimizar la producción agrícola en el país (Perez, Garcia, & M., 2023).

En este trabajo se realizará una evaluación del rendimiento productivo de dos especies de hortalizas, tomate y pimiento, cultivadas en invernadero automatizado utilizando fertirriego en la Finca Experimental Agrícola (FAE-UNI), analizando los resultados obtenidos a través de métodos estadísticos que permitan determinar las condiciones óptimas dentro del invernadero automatizado para un buen rendimiento productivo de las especies a cultivar.

II. ANTECEDENTES

En Nicaragua aún no se tiene registro de investigaciones relacionados al rendimiento productivo de hortalizas en invernadero automatizado utilizando fertirriego, por lo cual se usaron como antecedentes investigaciones con el mismo enfoque, llevadas a cabo en otros cultivos y con otros objetivos realizadas en otros países, es por tal razón que se decidieron considerar, ya que están relacionada al tema de investigación “Evaluación del rendimiento productivo de dos especies de hortalizas cultivadas en invernadero automatizado utilizando fertirriego llevada a cabo en la Finca Agrícola Experimental (FAE-UNI).

Según (Basantes Ausay, 2017) que realizó un estudio, sobre respuesta del tomate riñón (*hycopersicum esculentum mil*) dominic bajo invernadero a dos relaciones nitrato / armonio, mediante fertirriego por goteo, llevado a cabo en la ciudad de Rio Bamba, se estableció para esta investigación el diseño unifactorial, con cuatro repeticiones, donde se obtuvo como resultado que el tomate riñón respondió de manera positiva al fertirriego mediante las soluciones nutritivas, nitrato-amonio 90/10 (T1) y Nitrato-Amonio 85/15 T2 utilizadas tuvieron influencia significativas en las variables: número de frutos por racimo, categorización del fruto de acuerdo al rango de peso y rendimiento por planta y por hectárea.

Siendo la mejor relación para el ensayo la solución nutritiva con relación nitrato-amonio 90/10 correspondiente al tratamiento T1, alcanzando un rendimiento de 275, 42 T/ha.

Según los autores (Cabalceta & Perez, 2017) que llevaron a cabo una investigación sobre “Evaluación del rendimiento y calidad de 15 genotipos de pimiento (*Capcicun Announ L.*) cultivados bajo invernadero en Costa Rica, se estableció para la investigación una metodología donde se utilizó un diseño experimental irrestricto al azar, con dos repeticiones por tratamiento. Se determinó el número de frutos por planta para cada categoría de calidad, el peso promedio de los frutos y se dividió entre el número de frutos totales; esta variable se determinó para cada categoría de calidad del fruto. El rendimiento se calculó a partir del peso de los frutos cosechados y de la densidad de siembra. El rendimiento comercial se calculó sumando el peso

de la producción de las categorías de primera y segunda calidad; el rendimiento total se obtuvo sumando el peso obtenido para las tres categorías de calidad. Las variables de rendimiento se sometieron a un análisis de varianza, y se utilizó la prueba de Duncan ($p \leq 0,05$) para confirmar o descartar diferencias significativas entre genotipos. Los genotipos que presentaron un mayor número de frutos de primera calidad por planta fueron XC-425, MACR-103-07 y Vikingo (7,25; 5,63; y 5,38, respectivamente). Los genotipos que produjeron el mayor rendimiento comercial fueron XC-425 y Vikingo (77,34 y 75,37 ton/ ha, respectivamente). Por lo tanto, estos genotipos fueron los que presentaron el mejor comportamiento en las condiciones de esta investigación.

Según (Cruz & Monge, 2019) que llevo a cabo un estudio en el año 2019, sobre evaluación del rendimiento y la calidad de siete genotipos de pepino partenocárpico de tipo mediano (Corinto, Katrina, Macario, Modan, Paraíso, primavera y 22-20-782), cultivados en condiciones de invernadero en la Estación Experimental Agrícola “Fabio Baudrit Moreno”, en Alajuela, Costa Rica.

El cultivo se manejó con fertirrigación en sustrato de fibra de coco, y con poda a un tallo por planta, la floración (17-20 días después del trasplante (d.d.t.), edad al inicio de la cosecha (28-30 d.d.t.), longitud del fruto (16,56 - 21,30 cm), diámetro del fruto (42,94 - 54,09 mm), número total de frutos por planta (26,31-49,41), peso del fruto (215,41-269,89 g), rendimiento comercial (13,66-22,66 kg/m²), rendimiento total (18,11-28,41 kg/m²) y porcentaje de sólidos solubles totales (2,89 - 3,22 Brix).

En términos generales, los frutos de pepino de primera calidad mostraron mayor longitud, diámetro y porcentaje de sólidos solubles totales que los de segunda calidad y de rechazo. Los genotipos 22-20-782 y Katrina obtuvieron el mayor rendimiento comercial (20,89 y 22,66 kg/m², respectivamente) y primera calidad (12,48 y 12,49 kg/m², respectivamente), por lo que se consideran los mejor adaptados a las condiciones en que se desarrolló la investigación; sin embargo, sus frutos son más pequeños (menor longitud, diámetro y peso) en comparación con los de otros genotipos.

III. JUSTIFICACIÓN

El sector agrícola es uno de los más importantes en Nicaragua, ya que representa el 20% de PIB y emplea al 30% de la población activa (Ministerio de Hacienda y Credito Publico, 2023). Sin embargo, la agricultura nicaragüense atraviesa una serie de desafíos tales como: las condiciones climáticas que cada vez se vuelven más inestables debido al cambio climático, las plagas y enfermedades, siendo esta una de las principales causas de pérdidas en la agricultura, ya que causan daños a los cultivos impactando en el rendimiento productivo (FAO, 2022).

Para promover el desarrollo de la agricultura nicaragüense es necesario promover la formación en zonas rurales de un modelo de agricultura sostenible, altamente productiva, no extensiva, diversificada y resiliente, basado en la aplicación del conocimiento tradicional con tecnologías adecuadas, esto se logra a través de la implementación de la agricultura protegida, como es el caso de los invernaderos automatizados utilizando fertirriego, siendo una estrategia que puede contribuir a mejorar la productividad agrícola en Nicaragua.

El fertirriego, por su parte, es una técnica que permite aplicar nutrientes a las plantas de forma controlada, lo que puede contribuir a mejorar su crecimiento y desarrollo.

Esta investigación permitirá generar alternativas de producción sostenibles, que reduzca el alto riesgo de la agricultura convencional, permitiendo obtener alimentos sanos con altos rendimientos productivos, lo que se traducirá en mayores ingresos económicos. Los resultados de esta investigación podrán ser transferidos a las familias productoras de las zonas aledañas a la Finca Agrícola Experimental (FAE-UNI), mejorando las formas de producción, a través de la promoción de un modelo de agricultura más sostenible y no extensiva.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- ❖ Evaluar el rendimiento productivo de dos especies de hortalizas cultivadas en invernadero automatizado utilizando fertirriego FAE-UNI 2023.

4.2 objetivos específicos

- ❖ Analizar condiciones edafoclimáticas para la producción de dos especies de hortalizas en el invernadero automatizado, a través del registro de variables climatológicas.
- ❖ Determinar la adaptabilidad de dos especies hortícolas **(Tomate, Pimiento)** a las condiciones agroclimáticas del invernadero automatizado, a través del análisis de variables de desarrollo y cosecha.
- ❖ Realizar un análisis económico determinando los costos de producción y la rentabilidad de cultivo de dos especies de hortalizas en invernadero automatizado.

V. MARCO TEORICO

Actualmente en la agricultura se ha venido innovando con nuevos métodos de producción que ya no solo se llevan a cabo a campo abierto, se practica en una amplia variedad de ambientes modificados, entre los que destacan los invernaderos con o sin control ambiental con cultivos en sistemas hidropónicos, sustratos inertes o en suelo, mismos que representan un ejemplo de agricultura protegida y sostenible (Juares, 2011).

La producción de hortalizas en invernaderos tiene ventajas frente a los cultivos producidos a campo abierto, esto se debe al control sobre parámetros agronómicos para el cuidado y crecimiento de los cultivos, tales como temperatura, humedad, riego, entre otros (Novagric, 2015). Uno de los tipos de riego utilizado en estos sistemas de producción bajo invernadero es el riego por goteo, usado para garantizar una humedad constante al cultivo y por medio de la fertirrigación que las plantas permanezcan con sus niveles nutricionales esenciales para que la producción sea óptima y evitar desperdicios de fertilizante.

5.1 Invernadero

Invernadero es un recinto delimitado por una estructura de madera o de metal, recubierta por vidrio o cualquier material plástico de naturaleza transparente, en cuyo interior suelen cultivarse hortalizas y plantas ornamentales en épocas durante las cuales las condiciones climáticas externas no permitirían obtener el producto deseado (Iglesias, 2006).

Figura 1. Representación visual de un invernadero



Fuente: (Nutricontrol Automatic fertigation & climate control, 2020).

5.1.1 Manejo del clima en el invernadero hortícola

La mayoría de las especies hortícolas que se cultivan bajo invernadero, requieren para su óptimo desarrollo temperaturas de aire moderadas a templado cálidas: 16 a 28°C. El crecimiento se detiene por debajo de los 10-12°C y por encima de los 30-32°C. Condiciones extremas de humedad relativa por varias horas y valores muy altos o muy bajos de radiación solar, afectan la calidad comercial de muchas especies (Iglesias, 2006).

Se aconseja que las estructuras tengan una gran superficie de aberturas. Como no conviene aumentar las longitudes de las paredes, una forma de lograrlo es aumentando la altura de las mismas y colocando aberturas cenitales. Se sugiere contar con un invernadero que por lo menos presente: altura lateral superior a 2 metros y cenital superior a 3 metros.

Cierre hermético de la cobertura, sin infiltraciones de aire importantes (presencia de zócalos, puertas que cierran bien, ausencia de juntas imperfectas, etc).

Ventanas de fácil manejo que representen por lo menos una posibilidad de apertura del 25% de la superficie de suelo cubierta.

5.1.3 Condiciones del invernadero

Las dos características principales que deben poseer los invernáculos para ser un medio idóneo para la producción, son eficiencia y funcionalidad. Se entiende por eficiencia a la capacidad para acondicionar algunos de los principales elementos del clima dentro de límites bien determinados y de acuerdo con las exigencias fisiológicas de los cultivos, y funcionalidad al conjunto de requisitos que permiten la mejor utilización del invernáculo, tanto desde el punto de vista técnico como económico (Iglesias, 2006).

➤ Ventilación natural

La ventilación natural del invernadero es la técnica de climatización menos costosa y generalmente la peor manejada. Permite actuar sobre las estructuras, el contenido de humedad relativa del aire y la renovación de anhídrido carbónico. De muchas experiencias surge que el área mínima de ventanas del invernadero debe representar por lo menos el 25% de la superficie de suelo cubierta.

Las aberturas cenitales, aunque difíciles de implementar en los invernaderos con doble techo, son de suma importancia en situaciones de falta de viento y cuando el cultivo es alto y obstruye las aberturas laterales. Estas aberturas deben cerrarse muy bien durante los períodos fríos, para evitar filtraciones de aire. Se sugiere que represente como mínimo el 10% de la superficie de suelo cubierta. Como la principal función de las aberturas cenitales es permitir el escape de aire caliente que se genera en el interior, convendría que su orientación sea contraria a la de los vientos predominantes en verano, para evitar así esa salida: Ejemplo: un invernadero orientado E-O en una zona de vientos estivales predominantes del sector N, debería tener la abertura cenital hacia el S (Iglesias, 2006).

Las aberturas laterales deben superar siempre la altura del cultivo. Esto se logra aumentando la altura de las paredes. Los mecanismos de sujeción de la cobertura deben ser seguros y fáciles de operar. La cobertura siempre debe estar fija en la parte superior y la apertura se efectúa de abajo hacia arriba. Es imprescindible la

presencia de un zócalo que garantice mayor hermeticidad a la estructura cuando está cerrada y proteja al cultivo recién trasplantado de los embates del viento.

Si se respetan los mínimos de aberturas efectivas recomendados, en invernaderos altos con aberturas cenitales la oportunidad de apertura de ventanas juega un rol importante: abrir bien las ventanas, aún en época invernal, si el día es soleado, para que se reduzca la humedad relativa y entre anhídrido carbónico.

La disposición de las filas del cultivo en sentido transversal mejora la ventilación, especialmente en días de vientos calmos.

La incidencia de enfermedades de tipo virótico transmitidas por insectos, como la tan temida “peste negra del tomate”, obliga al productor a replantear sus estrategias de manejo, particularmente en los cultivos primavera estivales. Además de la elección de híbridos resistentes o tolerantes y diversas medidas de higiene, la protección del cultivo en sus primeras etapas con mallas anti-insectos parece ser una buena manera de prevenir la enfermedad.

Estas mallas, que se colocan en las ventanas del invernadero, inciden negativamente sobre la renovación del aire, especialmente en días sin viento. Por lo tanto, si se decide utilizarlas, hay que hacer un ajuste en las épocas de trasplante, por ejemplo, adelantándolo para proteger al cultivo el mayor tiempo posible. Esta alternativa obliga a contar con un sistema de calefacción en el invernadero.

En cualquier zona de latitudes medias, la ventilación natural suele resultar insuficiente cuando la temperatura exterior supera los 30°C y debe recurrirse a otras técnicas de refrigeración, como por ejemplo el sombreado (Iglesias, 2006).

Figura 2. Representación visual del sistema de ventilación natural en un invernadero



Fuente: (Nutricontrol Automatic fertigation & climate control, 2020).

➤ **Sombreado del invernadero**

El sombreado de invernaderos, poco difundido entre nuestros productores hortícolas, produce el descenso de las temperaturas en el interior de las estructuras por disminuir la radiación global incidente. Debe manejarse con cuidado en tomate, ya que es muy sensible a la falta de luz durante la floración (Iglesias, 2006).

Figura 3. Representación visual del sistema de sombreado del invernadero automatizado FAE-UNI.



Fuente: (Propia).

➤ **Acolchado plástico del suelo (mulching - mulch)**

El acolchamiento es una técnica empleada para proteger los cultivos y el suelo, de la acción de los agentes atmosféricos, los cuales, entre otros efectos, reducen la calidad de los frutos, resecan el suelo, enfrían la tierra y arrastran los fertilizantes, incrementando los costos.

Para enfrentar estos problemas, la agricultura dispone del plástico denominado polietileno para acolchado o mulch, con el cual se cubren las camas como capa protectora. Esta capa actúa como barrera de separación entre el suelo y el ambiente para amortiguar los efectos negativos.

Las camas cubiertas de polietileno ofrecen, además, otras ventajas: la opacidad a la luz solar, que impide el desarrollo de malezas y la absorción de calor durante el día y su posterior restitución durante la noche, convirtiéndose así en un excelente medio de defensa contra las bajas temperaturas nocturnas, contribuyendo notablemente en la aceleración del proceso fotosintético, que redunda en precocidad e incremento de los rendimientos (Iglesias, 2006).

Figura 4. Acolchado plástico del suelo (mulching - mulch), invernadero automatizado (FAE-UNI).



Fuente: (Propia).

5.2 Invernadero automatizado

Son instalaciones con dispositivos automatizados que disponen de sensores y actuadores para así lograr el completo control del riego de las plantas del invernadero. Un ejemplo claro de estas instalaciones con dispositivos automatizados son los llamados temporizadores o times, que son utilizados para encender o apagar las bombas, o las fotoceldas, que se utilizan para apagar o encender la iluminación del invernadero, o los sensores para manipular los calentadores y todos aquellos dispositivos del mismo estilo.

Estos dispositivos manejan algunos de las actividades por medio de computadores. Los invernaderos automatizados nos ofrecen un grado de independencia muy grande, ya que manejan por si solos aspectos muy importantes del manejo del cultivo (almeria, 2017).

Figura 5. Representación visual de las instalaciones del invernadero automatizado (FAE-UNI).



Fuente: (Propia)

5.2.1 Condiciones del invernadero automático

El invernadero cuenta con una serie de sistemas que trabajan de forma combinada, y que los mismos son operados desde un controlador central de clima y riego que funciona de la siguiente manera:

El sistema de fertilización funciona bajo demanda, utiliza sensores de pH y conductividad eléctrica que se colocan en los sustratos donde se cultivan las plantas. Los sensores mandan los valores registrados al sistema de control, el cual, a partir de las lecturas de pH y los valores de conductividad eléctrica obtenidos, adiciona automáticamente a las soluciones nutritivas circulantes, cuando hacen falta, la cantidad de macro y micronutrientes necesarios para su óptimo crecimiento y desarrollo. Estos nutrientes son suministrados junto con el sistema de riego.

El sistema de riego por goteo, es un sistema inteligente que regula la velocidad de riego y la concentración de agua en la solución nutritiva, de acuerdo con los valores registrados de temperatura y humedad relativa por los sensores ambientales.

El sistema de control ambiental es un sistema multitarea, regulado por sensores de radiación solar, temperatura, humedad, concentración de CO² y lluvia. A partir de los valores registrados por los sensores ambientales, el sistema desencadena respuestas coordinadas de apertura o cierre de ventanas, remoción o colocación de mallas sombra, prendido o apagado de ventiladores y nebulizadores, velocidad de goteo y concentración de agua en las soluciones nutritivas. De acuerdo con los siguientes lineamientos.

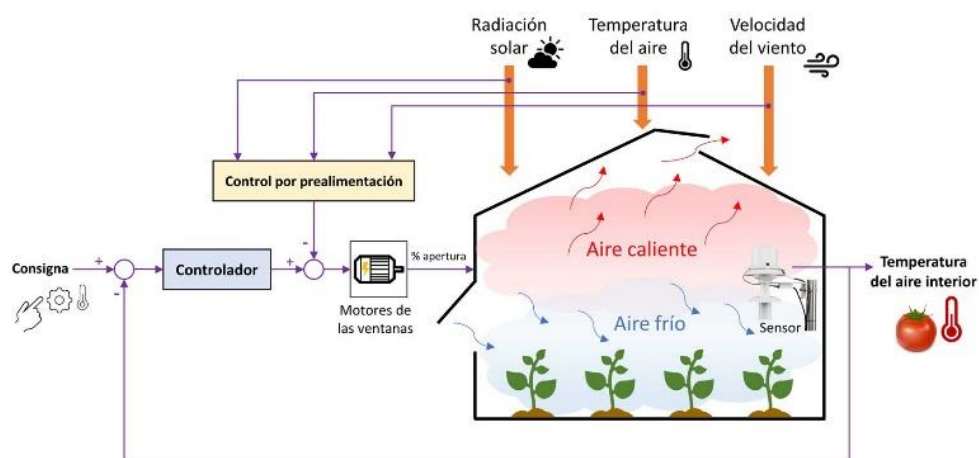
En presencia de lluvia torrencial, las ventanas se cierran por completo. Cuando hay irradiación solar intensa se colocan las mallas de sombra. En horas de radicación baja, la malla sombra se retiran, en automático.

Cuando es posible, se intenta operar el invernadero sólo con el sistema de ventilación pasivo. Las ventanas se abren por completo cuando al interior del

invernadero hay alta temperatura, y/o humedad relativa alta y/o alta demanda de CO_2 .

Cuando con las ventanas completamente abiertas no es posible conseguir que la temperatura baje, la humedad disminuya o la concentración de CO_2 aumente, se encienden los ventiladores auxiliares. En cualquiera de las condiciones de operación, cuando la humedad relativa es baja, se enciende el sistema de nebulización (almeria, 2017).

Figura 6. Esquema de control por planificación de ganancias aplicado para controlar la temperatura diurna del aire en el interior de un invernadero automatizado mediante ventilación natural



Fuente: (Horticultura,2020)

5.3 Fertirriego

El fertirriego es una técnica de fertilización que combina la aplicación de fertilizantes con el riego. Esta técnica tiene varias ventajas sobre la fertilización tradicional, como la mejora de la eficiencia de la fertilización, la reducción de los costos de producción y la disminución de la contaminación ambiental (M., 2012).

Esta técnica tiene una serie de ventajas sobre la fertilización tradicional, como:

- Mayor eficiencia en la aplicación de los fertilizantes, ya que se reduce la pérdida por volatilización o lixiviación.
- Mejor aprovechamiento de los nutrientes por parte de las plantas, ya que se suministran directamente al lugar donde las plantas los necesitan.
- Menor impacto ambiental, ya que se reduce la contaminación del aire y del agua.

5.3.1 Dosis

La dosis de fertilizantes a aplicar mediante fertirriego se determina en función de una serie de factores, como:

- El tipo de cultivo.
- La etapa fenológica del cultivo.
- El estado nutricional del suelo.
- La calidad del agua de riego.

➤ **Formula**

Una de las fórmulas más utilizadas para determinar la dosis de fertilizantes a aplicar mediante fertirriego es la siguiente:

$$D = M / (C * V)$$

Donde:

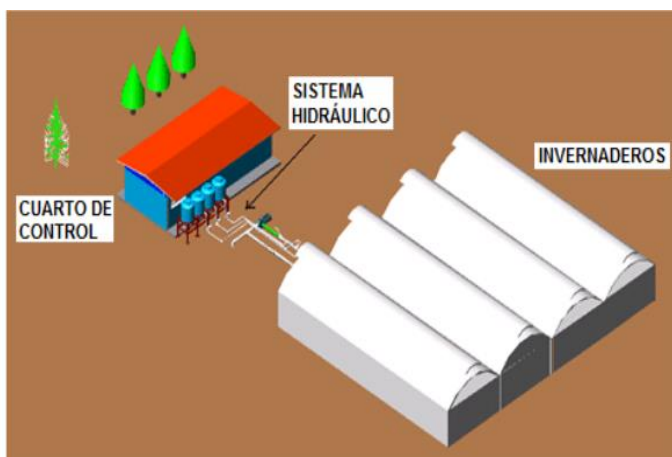
D = es la dosis de fertilizante a aplicar (kg/ha).

M = es la cantidad de nutrientes necesarios para el cultivo (kg/ha).

C = es la concentración del fertilizante en la solución nutritiva (kg/m³).

V = es el volumen de solución nutritiva a aplicar (m³/ha).

Figura 7. Representación visual de instalaciones de fertirriego



Fuente: (Rev Cie Téc Agr [online]. 2010)

5.4 Importancia y generalidades del cultivo del Tomate

El tomate *Solanum lycopersicum* (o su denominación anterior *Lycopersicum esculentum* Mill., que aún es ampliamente utilizada), pertenece a la familia *Solanaceae*. Es una planta herbácea anual, bianual, de origen centro y sudamericano. Actualmente es cosmopolita, cultivada para consumo fresco e industrializado.

Dentro de la horticultura mundial, el cultivo de tomate constituye uno de los rubros de mayor dinamismo. De la familia de las *Solanáceas*, es una planta herbácea cuyo hábito de crecimiento puede ser determinado o indeterminado y, sobre esta base, ser cultivada de diversas formas y la cosecha ser planificada según objetivo, pudiendo encontrar producciones destinadas a procesos industriales o a consumo fresco, siendo esta última la de mayor diversificación productiva, debido a que el tomate puede ser cultivado en una alta gama de condiciones durante todo el año. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las heladas y el calor excesivo pueden dificultar su buen desarrollo en esas épocas, especialmente en aquellos cultivos establecidos al aire libre (Torres P., 2017).

5.4.1 Importancia económica del Tomate a nivel mundial

Estimaciones de la FAO indican que el tomate es la hortaliza más cultivada e importante en el mundo, siendo el consumo fresco e industria los dos principales destinos de producción, alcanzando en 2013; 4,7 millones de hectáreas (ha) y una producción de 164 millones de toneladas (t) (Torres P., 2017).

La producción de tomate en Nicaragua ha alcanzado niveles destacados durante el mes de junio, según informó el Sistema Nacional de Producción, Consumo y Comercio. Se contabilizaron 95,057 quintales de este rubro, una cifra significativa que refleja la solidez de este cultivo en el país. En su mayoría, el tomate fue cosechado en túneles e invernaderos productivos, lo que ha permitido mantener volúmenes suficientes para abastecer el consumo mensual, sin embargo, en comparación con el volumen que producen los principales productores a nivel mundial es bajo **(Ver Tabla 1, página 18)**. Recalcando que la producción se ve marcada por la extensión territorial que cuentan estos países.

No obstante, hoy la estrechez de mercado sumado a los altos volúmenes de comercialización, especialmente la introducción del cultivo en invernaderos para consumo fresco, colocan al rubro en un nivel altamente competitivo, forzando a los agricultores a manejar costos y a aumentar la búsqueda de mercados externos para mantener la rentabilidad, (Torres P., 2017).

Tabla 1. Superficie y volumen de tomate producido por país en el 2011*.

País	Superficie (miles ha)	Volumen (miles t)
China	986	48.577
India	865	16.826
Estados Unidos	149	12.625
Turquía	270	11.003
Egipto	212	8.105
Irán	184	6.824
Italia	104	5.95
Brasil	71	4.417
España	50	3.821
Uzbekistán	58	2.585
México	85	2.436
Rusia	117	2.201
Ucrania	86	2.112
Otros países	1.497	31.542
Total	4.734	159.023
*Incluye tomate para consumo fresco e industrial.		

Fuente: Manual de cultivo del tomate bajo invernadero. Boletín INIANO, 10(2), 15-30.

5.6.2 Importancia del cultivo de Tomate en Nicaragua

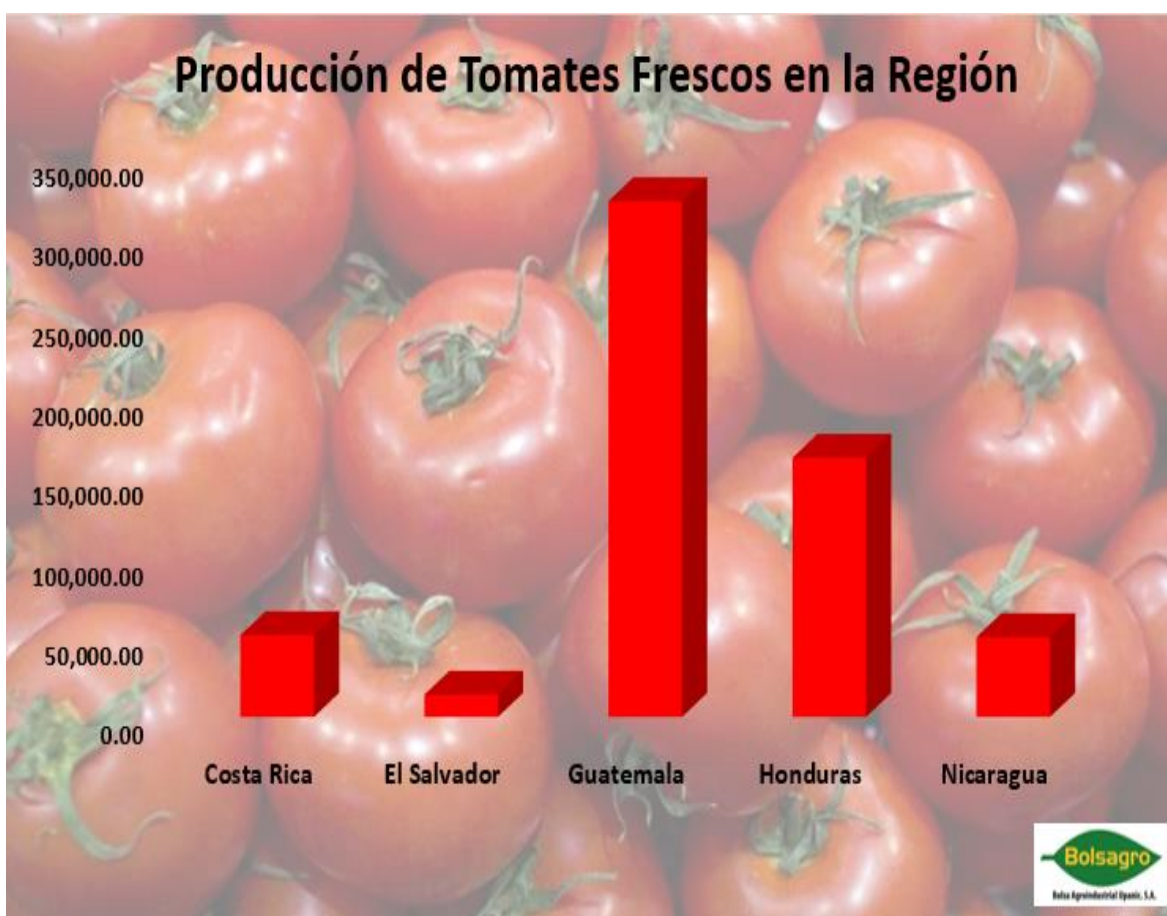
El tomate se cultiva en Nicaragua desde los años 1940, iniciándose en el municipio de Tisma, departamento de Masaya; posteriormente fue distribuido al resto del país (Fernández, 2016).

En Nicaragua se pueden cultivar en gran parte del territorio, preferiblemente aquellos lugares ubicados en alturas entre los 100 y 1500 m.s.n.m. En el período de lluvias la incidencia de enfermedades es mayor, mientras que durante la época seca las plagas son el mayor problema. Sin embargo, dichos problemas son superables mediante un conjunto de prácticas agrícolas que incluyan métodos de manejo y controles adecuados, los cuales tienen que ser realizados en el momento y la forma precisa en que se indican, ya que de éstas depende el éxito al final de la producción agrícola (Castillo Martínez, 2017, p. 2).

La Producción de Tomate en Nicaragua se encuentra actualmente de acorde a la demanda nacional (consumo nacional se estima en 500,000 kilogramos) el comercio ha venido a aportar mejores precios a los productores y diferentes variedades para los consumidores (MIFIC, 2007, p. 9).

En la figura 8, se hace una representación visual de la producción de tomate en la región Centroamericana, siendo Nicaragua el cuarto mayor productor de la región.

Figura 8. Producción de tomate fresco en la región centroamericana.



Fuente: (Bolsagro, Nicaragua).

5.6.3 Clasificación y taxonomía del cultivo de Tomate

Solanum S. lycopersicum, comúnmente llamada tomate, jitomate etc., es una especie de la familia *Solanáceas*, es originaria de las regiones de Sudamérica y se cultiva en todo el mundo, en grandes y pequeñas extensiones, debido al alto valor de su fruto.

Tabla 2. Taxonomía del cultivo de Tomate (*Solanum S. lycopersicum*).

Taxonomía	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Sub clase:	Asteridae
Orden:	Solanales
Familia:	Solanaceae
Genero:	Solanum
Sub género:	Potatoe
Sección:	Petota
Especie:	<i>S. lycopersicum</i>

Fuente: (infoagro, 2010).

5.6.4 Características morfológicas del cultivo de Tomate

➤ Raíz.

Su sistema radicular es potente con una profunda raíz principal y numerosas raíces secundarias (infoagro, 2010).

Figura 9. Sistema radicular de una planta de tomate



Fuente: (infoagro, 2010)

➤ Tallo

Su tallo es anguloso, cubierto con pelos glandulares, siendo la tarea de la poda de los tallos una práctica común en el cultivo en tutorado de tomate (infoagro, 2010).

Figura 10. Tallo de una planta



Fuente: (Propia)

➤ Hojas

Las hojas son alternas e imparipinnadas, conteniendo de 7 a 9 folios, e igualmente están cubiertas con pelos glandulares (infoagro, 2010).

Figura 11. Representación visual de las hojas de tomate



Fuente: (Propia)

➤ Flores

La floración es en forma de racimos simples o ramificados, conteniendo en la mayoría de cultivares entre 3 y 10 flores (infoagro, 2010).

Figura 12. Representación visual de la floración en las plantas de tomate



Fuente: (Propia)

➤ Fruto

El fruto es una baya globosa o periforme, liso o acostillado, rojo en la mayoría de cultivares en madurez. El diámetro de los frutos oscila entre 2 y 16 cm. En el interior de los mismos se encuentran las semillas que son grises, en forma de disco y con vellosidades (infoagro, 2010).

Figura 13. Representación visual de los frutos de tomate



Fuente: (infoagro, 2010)

5.6.5 Hábitos de crecimiento

De acuerdo con una investigación desarrollada por (Iglesias, 2006), describe el hábito de crecimiento y las variedades comerciales como dos tipos de diferente morfología: determinado e indeterminado.

➤ Indeterminadas

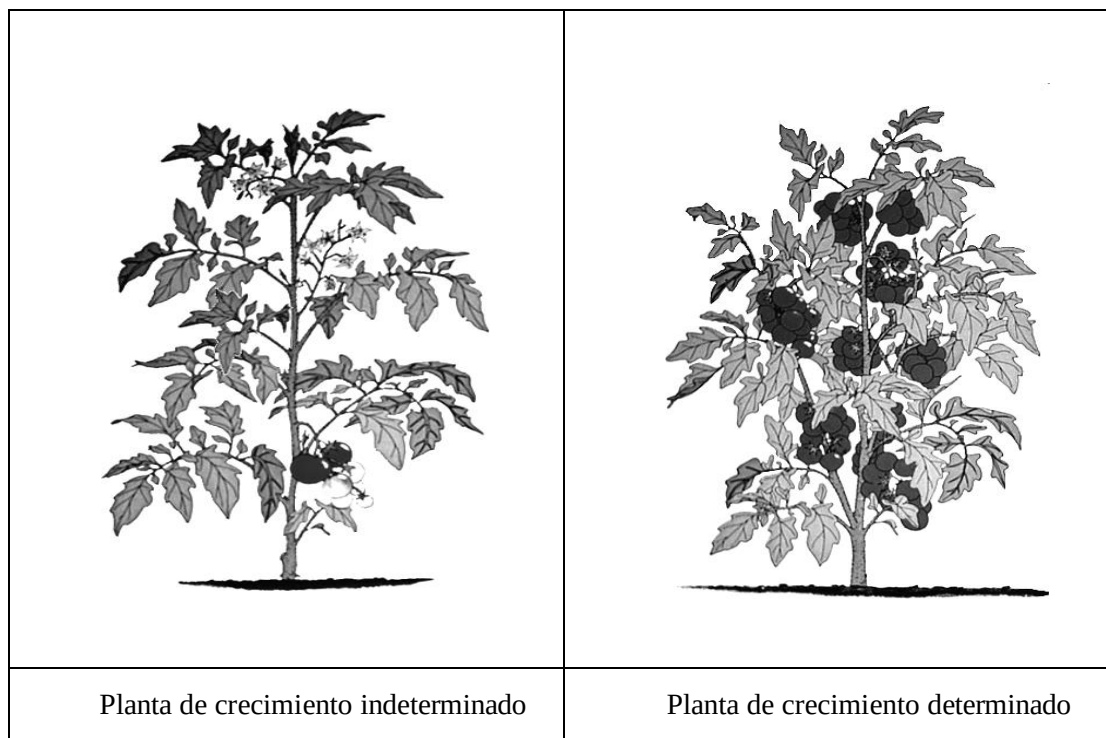
Son plantas que presentan inflorescencias laterales, manteniendo el brote terminal siempre vegetativo, normalmente son plantas perennes y de uso muy difundido en invernaderos.

Estas plantas comparten el crecimiento vegetativo con el reproductivo y según el cultivar, el primer racimo floral aparece luego de haber diferenciado entre 7 y 12 hojas, para luego intercalar racimos florales cada 3 hojas (a veces 2 ó 4), ello depende de una interacción genotipo-fotoperiodo. Estas plantas continúan con el patrón de crecimiento en forma indeterminada.

➤ Determinadas

También desarrollan la primera inflorescencia luego de emitir el mismo número de hojas (7 a 12) e intercalan 1 hoja (a veces 2) entre cada racimo floral, hasta que en la tercera o cuarta inflorescencia el ápice terminal se diferencia en un racimo floral; en ese caso pueden retomar el crecimiento vegetativo a partir de un brote axilar, pero inmediatamente este brote se transforma también en reproductivo. Estas plantas de crecimiento determinado son utilizadas normalmente para cultivos a campo, aunque en algunos casos se las utiliza en invernaderos, para concentrar la producción en períodos cortos.

Figura 14. Representación visual de los hábitos de crecimiento en una planta de tomate



Fuente: (Iglesias, N. (2006)).

5.6.5 Condiciones edafoclimáticas del cultivo de Tomate

➤ Temperatura

Es el factor más importante. El rango óptimo para que ocurra la floración del tomate va de 18 a 25°C. Cuando la temperatura supera 35°C se produce aborto floral y cuando es menor a 13°C se producen problemas de cuaja y se obtienen frutos deformes (Torres P., 2017).

La mayoría de las especies hortícolas que se cultivan bajo invernadero, requieren para su óptimo desarrollo temperaturas de aire moderadas a templado cálidas: 16 a 28°C. El crecimiento se detiene por debajo de los 10-12°C y por encima de los 30-32°C (Iglesias, 2006).

Tabla 3. Valores óptimos de temperatura en distintos cultivos

Especie	T° óptima nocturna (°C)	T° óptima diurna (°C)
Acelga	7	18-25
Berenjena	15-18	22-26
Espinaca	2	20
Lechuga	10-15	15-20
Melón	18-21	24-30
Pepino	18-20	24-28
Pimiento	16-18	22-28
Poroto Chaucha	16-18	21-28
Tomate	13-16	22-26
Zapallito	15-18	24-30

Fuente: (Iglesias, N. (2006)).

➤ **Humedad**

Se ha señalado que el rango óptimo para una adecuada polinización se encuentra entre el 60 a 70% de HR. Ver tabla 5. Valores superiores ocasionan una compactación del polen que dificulta la polinización y una humedad relativa inferior a 60% reduce la fijación del polen al estigma de la flor al momento de la polinización (Torres P., 2017).

➤ **Luminosidad**

La floración no es sensible al largo del día, por tanto, el tomate es considerado una planta de día neutro. No obstante, se requiere un nivel de luminosidad mínimo durante un tiempo determinado para que aparezca y se desarrolle el primer racimo floral. En general, las plantas de tomate que crecen en ambientes de baja luminosidad reducen su número de flores (Torres P., 2017).

Figura 15. Representación visual de un higrómetro



Fuente: (www.google.com)

En la tabla 4. Se muestra los valores óptimos de crecimiento y los principales parámetros climáticos para el cultivo de tomate en invernaderos.

Tabla 4. Niveles de distintos parámetros climáticos determinados para tomate

Parámetros	Niveles
	Tomate
Temperatura (°C)	
mínimo de germinación	9-oct
óptima de germinación	20-30
óptima de sustrato	15-20
mínima letal	0-2
mínima biológica	
óptima diurna	22-26
óptima nocturna	13-16
máxima biológica	26-30
Humedad relativa (%)	
óptima	55-60
Anhidrido carbónico (ppm)	
óptimo	1000-2000
Luz	
intensidad (lux)	10000-40000
duración	indiferente

Fuente: (Iglesias, N. (2006)).

5.6.6 Labores culturales

Al momento de producirse la antesis de la primera flor, la partición de asimilados hacia las raíces disminuye (sólo el 8% tiene ese destino), mientras que las hojas y el tallo son los principales órganos en crecimiento (60 y 31% respectivamente). Las estructuras reproductivas tienen todavía una escasa importancia como destino (1%).

En el tomate se pueden practicar varios tipos de podas, pero lo más común es la conducción a un solo tallo, por lo que se eliminan los brotes de las axilas foliares. Con la técnica del desbrote, se pretende limitar el número de puntos de crecimiento de la planta, favoreciendo el flujo de foto asimilados hacia el ápice terminal, el tallo, las raíces y eventualmente hacia el racimo que está diferenciándose.

La eliminación de los brotes debe realizarse lo más temprano posible, porque además de provocar una herida pequeña, lo que es deseable desde el punto de vista sanitario, un brote extraído con gran tamaño significa una pérdida de energía que resiente la producción. Se realiza con una pequeña presión de los dedos hacia debajo de la inserción del brote en la axila (Iglesias, 2006).

5.6.6 Variables descriptoras del cultivo de Tomate Pachuca F1

En la ficha técnica elaborado por la empresa “bejo” el híbrido f1 como: tomate de planta semi determinada, vigorosa, con buena cobertura de follaje, crece bien en condiciones de estrés hídrico, planta muy productiva, produce frutos tipo oval, grandes (140-150g) muy uniformes, lisos y excelente firmeza y con buena maduración. Resistencia intermedia a TYLCV.

Tabla 5. Variables descriptoras del híbrido tomate Pachuca F1

Ciclo:	92 días
Tipo:	Semi-determinado
Tamaño:	Grande
Método de Crecimiento:	Libre sin podas
Temporada de siembra:	Todo el año
Rendimiento:	80 a 100 toneladas por hectárea
Vigor:	Medio
Número recomendado de plantas por hectárea:	5,000 a 10,000
Plantas por metro lineal:	1 a 2
Forma:	Oval
Color externo:	Rojo
Cosecha:	Todo el año
Tipo de planta:	Semi-Determinada
Firmness Fruit GT :	Alta
Frutos por racimo:	5 a 8
Hábito de crecimiento:	Campo abierto
Vida de anaquel:	Muy buena
Peso por fruto:	130 a 160 gramos
Thickness Wall GT:	Gruesa
Brightness GT:	Alto
Distancia de entrenudos:	Intermedia
Thickness Skin GT:	Gruesa Cantidad de frutos por planta:

Fuente: (Empresa bejo)

5.7 Importancia y generalidades del cultivo de Pimiento

Es un cultivo originario de América del sur, de la zona de Perú y Bolivia y, desde allí se expandió hasta América central y Meridional. Los frutos son consumidos crudos o cocidos y, a nivel industrial, se emplean para la producción de productos de II Gama (conservas en vinagre y polvo para condimento) y de III Gama (congelados). Desde el punto de vista varietal, el pimiento presenta una amplia gama de genotipos utilizados para encurtidos, obtención de pimentón y consumo fresco; de estos últimos, los genotipos de pimiento dulce suelen tener frutos de tamaño grande y son los que se cultivan en invernaderos. Son también los más sensibles a situaciones de cultivo limitantes (Ludvik, B.; Giardina, E.; , 2017).

Según el informe publicado por la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO) en 2016, el pimiento es uno de los cultivos más importantes en todo el mundo. Es cultivado en más de 100 países y su producción anual supera los 34 millones de toneladas. Los principales productores de pimiento son China, Turquía, España, México y Estados Unidos. Además, el pimiento es ampliamente utilizado en la industria alimentaria para la producción de salsas, condimentos y conservas. El informe también destaca los beneficios nutricionales del pimiento, como su alto contenido en vitamina C, vitamina A, vitamina B6, ácido fólico y fibra dietética (FAO, 2016).

La variabilidad genética en pimiento incluye genotipos cultivados y silvestres que difieren en rendimiento y muchas características tales como tamaño, peso y color del fruto, turgencia, altura de planta y grado de madurez (Ludvik, B.; Giardina, E.; , 2017).

5.7.1 Importancia económica del pimiento a nivel mundial

El pimiento (*Capsicum annuum*) tiene una gran importancia económica a nivel mundial, con una producción anual que supera los 36 millones de toneladas métricas. China, México, Turquía, Indonesia y España son algunos de los principales productores, siendo China el mayor productor con aproximadamente el 49% de la producción mundial. Este cultivo no solo es vital para la alimentación, ofreciendo vitaminas y antioxidantes esenciales, sino que también contribuye significativamente a las economías agrícolas de estos países, generando empleo y exportaciones. En 2021, por ejemplo, las exportaciones globales de pimientos frescos superaron los 3,500 millones de dólares (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2023).

El mercado de pimientos también refleja un crecimiento constante, impulsado por la demanda en la industria alimentaria y la cocina internacional. La FAO destaca que la diversificación en el uso de pimientos, desde el consumo fresco hasta la elaboración de salsas y productos procesados, amplía las oportunidades económicas para los agricultores y las empresas agroindustriales. Este dinamismo económico es respaldado por políticas agrícolas y comerciales que fomentan la producción sostenible y la mejora de la calidad de los productos (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2023).

En la figura 10, se hace una representación visual de los principales países productores de Pimiento a nivel mundial.

Figura 16. Producción mundial de Pimiento 2021.

Producción mundial de pimiento. 2021				
		Toneladas	Hectáreas	Kilos/m2
China	1	16.721.691	752.121	2,22
Turquía	2	3.091.295	80.239	3,85
Indonesia	3	2.747.018	321.923	0,85
México	4	2.584.144	147.808	1,75
España	5	1.511.560	22.240	6,80
Egipto	6	862.127	47.892	1,80
Nigeria	7	759.134	101.335	0,75
EE. UU.	8	531.202	16.916	3,14
Países Bajos	9	440.000	1.630	26,99
Túnez	10	430.000	18.996	2,26
Polonia	11	376.300	4.300	8,75
Argelia	12	351.832	11.190	3,14
Italia	13	244.050	9.670	2,52
Níger	14	243.980	12.837	1,90
Kazajstán	15	236.852	9.990	2,37
Sri Lanka	16	234.592	77.507	0,30
Corea del Sur	17	227.363	33.373	0,68
Macedonia N.	18	222.926	9.773	2,28
Marruecos	19	213.135	4.994	4,27
Perú	20	210.154	12.134	1,73
Ucrania	21	173.560	15.500	1,12
Rumanía	22	154.790	10.370	1,49
Argentina	23	153.201	6.403	2,39
Serbia	24	147.663	10.278	1,44
Venezuela	25	146.817	10.126	1,45
Israel	26	145.203	2.292	6,34
Japón	27	141.787	3.127	4,53
Benín	28	137.047	32.823	0,42
Grecia	29	138.280	3.310	4,18
Ghana	30	120.289	14.400	0,84
Otros		2.588.652	249.813	1,04
Total		36.286.644	2.055.310	1,77
Fuente: FAO. Elaboración: Hortoinfo.				

Fuente: (FAO). Elaboración: (Hortoinfo)

5.7.2 Importancia del Pimiento en Nicaragua

El pimiento es un cultivo importante en Nicaragua, tanto para el consumo local como para la exportación. Según el Ministerio Agropecuario de Nicaragua (MAG), en el año 2020 se produjeron alrededor de 29,690 toneladas de pimiento en el país, principalmente en los departamentos de Masaya, Granada y Estelí. Además, el pimiento es uno de los principales productos de exportación agrícola de Nicaragua, con un valor de exportación de alrededor de 25 millones de dólares en el año 2020.

El pimiento es utilizado en la cocina nicaragüense en diversos platos típicos, como el gallo pinto, la sopa de res y el vigorón. También se utiliza para la producción de salsas y aderezos.

5.7.3 Clasificación taxonómica del cultivo del Pimiento

Capicúa annuum, popularmente conocido como pimiento dulce, pertenece a la familia *Solanácea*. Originario de Sudamérica, este vegetal se cultiva en diversas partes del mundo, tanto en áreas extensas como en pequeños huertos, gracias al valor nutritivo y gastronómico de su fruto.

Tabla 6. Taxonomía del cultivo de Pimiento (*Capsicum annuum*)

Taxonomía	
Nombre científico:	<i>Capsicum annuum</i>
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Solanales
Familia:	Solanaceae
Genero:	<i>Capsicum</i>
Especie:	<i>C. annuum</i>

Fuente: (infoagro, 2010)

5.7.4 Características morfológicas del cultivo de Pimiento

➤ Raíz

El sistema radicular es pivotante y profundo (dependiendo de la profundidad y textura del suelo), con numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud comprendida entre 50 cm y 1 m (Horticultura Efectiva, s.f.).

Figura 17. Sistema radicular de una planta de Pimiento



Fuente: (infoagro, 2010)

➤ Tallo

El tallo principal es de crecimiento limitado y erecto. A partir de cierta altura (Horticultura Efectiva, s.f.) emite 2 o 3 ramificaciones (dependiendo de la variedad) y continúa ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo (los tallos secundarios se bifurcan después de brotar varias hojas, y así sucesivamente).

(Horticultura Efectiva, s.f.) señala que el pimiento, es una planta herbácea de tallos erectos y ramificados, de diversa altura, entre 50 cm y 1 m, según la variedad, y que puede ser mayor en los cultivos forzados. La raíz es pivotante con numerosas raíces adventicias.

Figura 18. Tallo de una planta de Pimiento a los 25 días después de la siembra



Fuente: (Propia)

➤ Hojas

Las hojas enteras, con un largo pecíolo o casi sésiles, tienen una forma entre lanceolada y ovalada, con el borde entero o muy ligeramente situado en la base. Es de color verde claro u oscuro y en ocasiones de color violáceo. (Horticultura Efectiva, s.f.).

Figura 19. Follaje de una planta de Pimiento F1



Fuente: (Propia)

➤ Flores

Pinto (2013), enuncia que las flores del pimiento son hermafroditas, es decir, una misma flor produce gametos femeninos y masculinos, suelen nacer solitarias en cada nudo y con el pedúnculo torcido hacia abajo cuando se produce la antesis.

El cáliz, de una sola pieza, está formado por 5- 8 sépalos verdes que persisten y se endurecen hasta madurar el fruto. La corola es usualmente blanca lechosa, está formada por 5- 8 pétalos, con la base de los mismos formando un tubo muy corto. El androceo está formado por 5- 8 estambres y el gineceo por 2-4 carpelos. Están localizadas en los puntos donde se ramifica el tallo o axilas, encontrándose en número de una a cinco por cada ramificación.

Figura 20. Planta de pimiento F1 en etapa de floración



Fuente: (Propia)

➤ Fruto

El fruto es una baya hueca, de superficie lisa y brillante, de colores y formas muy variables, con características típicas en cada cultivar. En el interior de la baya discurren 2 o 4 tabiques incompletos a lo largo de la pared del fruto, uniéndose solamente en la base de la placenta. El color de los frutos, así como cambios del mismo, es debido a la presencia de pigmentos carotenoides y antocianos (Pinto, 2013).

Figura 21. Frutos de una planta de pimiento



Fuente: (Propia)

5.7.5 Condiciones edafoclimáticas del cultivo de Pimiento

➤ Humedad

La humedad relativa óptima oscila entre el 50% y el 65%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y dificultan la fecundación. Cuando la humedad y la temperatura son elevadas se produce una floración deficiente, caída de flores, frutos deformes y disminución del crecimiento. Efectos similares se producen cuando la humedad relativa es escasa (Iglesias, 2006).

➤ Temperatura

Es un cultivo de climas cálidos y secos, por lo que se considera uno de los más exigentes en calor (más que el tomate). Soporta bien las temperaturas elevadas, siempre que la humedad sea adecuada, llegando a tolerar hasta 40-45°C. La temperatura media debe estar comprendida entre 23-25°C (Ver tabla 8) (Iglesias, 2006).

Tabla 7. Valores de temperatura (C°) para el cultivo de Pimiento

Especie	Mínimo crecimiento	Optima noche	Optima día
Tomate	10-12	13-16	22-26
Pimiento	12	16-18	22-28
Pepino	12-14	18-20	24-28
Lechuga	6-8	10-15	15-20
Berenjena	12	15-18	22-26
Melón	13-14	18-21	24-30
Poroto	12	16-18	21-28

Fuente: (Iglesias, N. (2006)).

➤ Luminosidad

El pimiento es una planta muy exigente en luminosidad, sobre todo en los primeros estados de desarrollo y durante la floración (Horticultura Efectiva, s.f.).

Figura 22. Instrumento para medir las variables climáticas en invernadero



Fuente: (www.google.com)

En la tabla 8. Se muestra los valores opimos de crecimiento de los principales parámetros climáticos para el cultivo de Pimiento en invernaderos.

Tabla 8. Niveles de distintos parámetros climáticos determinados para Pimiento

Parámetros	Niveles
	Cultivo de Pimiento
Temperatura (°C)	
mínimo de germinación	12-15
óptima de germinación	20-30
óptima de sustrato	15-20
mínima letal	0-4
mínima biológica	10-12
óptima diurna	22-28
óptima nocturna	16-18
máxima biológica	28-32
Humedad relativa (%)	
óptima	65-70
Anhidrido carbónico (ppm)	
óptimo	1000
Luz	
intensidad (lux)	
duración	día largo

Fuente: (Iglesias, N. (2006)).

➤ Suelos

Es poco exigente en suelo, debido a que posee un potente y profundo sistema radical. No obstante, los suelos más adecuados son los francos y profundos. En suelos arcillosos pueden presentarse problemas de asfixia radical, mostrando rápidamente los síntomas.

Los valores de pH óptimos oscilan entre 6 y 7, aunque en suelos enarenados puede cultivarse con valores de pH comprendidos entre 7 y 8,5. En suelos ácidos presenta problemas de crecimiento y producción.

Es menos resistente a la salinidad del suelo y del agua de riego que el tomate y más que el pimiento, siendo más sensible durante las primeras fases del desarrollo. Es la planta cultivada en enarenado que mejor responde al retraso en las operaciones de retranqueo (Iglesias, 2006).

5.7.6 Labores culturales

➤ Aporcado

Se lleva a cabo a los 15-20 días del trasplante, cuando se pretende realizar un aporte de materia orgánica (estiércol, humus de lombriz) en terrenos enarenados, cubriendo la parte baja de la planta con arena para protegerla del contacto con la materia orgánica.

Figura 23. Aporcado de surcos



Fuente: Propia.

➤ Poda de formación

Se lleva a cabo para delimitar el número de tallos con los que se desarrollará la planta (normalmente 2, 3 ó 4) y es necesaria para conseguir mayor precocidad y mejor calidad, mejorando las condiciones de aireación y luminosidad de la planta. Después del aporcado, se eliminan los chupones y hojas que se desarrollan por debajo de la “cruz”. El número de brazos se elegirá en función del marco de plantación.

Para la poda a cuatro brazos, habrá que dejar un tallo a cada brazo principal, a partir del cual brotará primero una flor, a continuación, una hoja y de la axila de ésta otro tallo, que se dejará hasta que aparezca la flor y se despuntará por la axila de la siguiente hoja, manteniendo esta última.

Figura 24. Representación visual de del proceso de poda



Fuente: (Infoagro,2010)

➤ **Tutorado**

Es una práctica imprescindible para evitar que los tallos se partan por el peso de los frutos, en las variedades erectas y que los frutos se deterioren, en el caso de variedades rastreras, aunque estas últimas actualmente están en desuso. Adicionalmente, mejora las condiciones de ventilación y luminosidad y, por tanto, la floración y el cuajado.

Cada uno de los tallos dejados a partir de la poda de formación, se sujeta al alambre con un hilo vertical que se va enrollando a la planta conforme va creciendo.

Figura 25. Representación visual de los tutores utilizados en el cultivo de Pimiento



Fuente: (Propia)

➤ **Deshojado**

Es recomendable aclarar un poco la planta para favorecer la aireación, ya que las hojas son muy frondosas, eliminando algunas hojas del interior y las de la parte baja, así como aquellas senescentes o enfermas. Debe realizarse bajo condiciones de baja humedad ambiental y con plantas secas.

Figura 26. Planta que se le realizara un proceso de deshojado



Fuente: (Infoagro,2010)

➤ **Raleo de frutos y flores**

En el ramillete floral sólo una de las 3-4 flores originará el fruto principal, por lo que conviene eliminar el resto. Es aconsejable realizar un aclareo de frutos malformados o dañados por plagas o enfermedades.

Figura 27. Representación visual de raleo de frutos y flores



Fuente: (Infoagro,2010)

➤ **Polinización y cuajado de frutos**

Bajo condiciones adecuadas de temperatura y humedad relativa, la polinización puede verse mejorada con la aplicación de un chorro de aire dirigido a la flor.

Figura 28. Cuaje de los Frutos



Fuente: (Propia)

➤ **Recolección**

No es necesario que el fruto haya alcanzado la madurez fisiológica, ya que debe recolectarse antes de que las semillas empiecen a engrosar, porque si no éstas amargan el paladar. El momento adecuado es cuando presenta un aspecto brillante. Normalmente el tiempo que media entre dos recogidas consecutivas es de 5 a 10 días, dependiendo de las condiciones ambientales.

Algunas normas básicas para la recolección son:

- Cortar el fruto por la mañana y, a ser posible, exento de humedad, respetando el plazo de seguridad de las materias activas empleadas.
- Emplear siempre tijeras de podar para no causar desgarres, dejando al menos un centímetro de pedúnculo.
- Cuidar la manipulación del fruto para que no sufra golpes ni magulladuras, colocándolo directamente en la caja de campo, utilizando un separador entre capa y capa.

Figura 29. Planta en estado de cosecha



Fuente: (Propia)

5.7.6 Variables descriptoras del cultivo de Pimiento caudillo F1

En la ficha técnica elaborado por la empresa “bejo” el híbrido como unas Plantas muy vigorosas y sanas, con excelente productividad y calidad. Posee frutos grandes, rectangulares cónicos de color verde oscuro con paredes muy gruesas y 275 gramos de peso promedio, con alto rendimiento para el llenado de cajas. Maduración de verde a rojo

Tabla 9. Variables descriptoras del híbrido Pimiento Caudillo F1

Ciclo:	80 a 120 días
Días de crecimiento para la primera cosecha:	70 a 75 días
Tipo:	La muyo
Tamaño:	Grande
Método de Crecimiento:	Libre y con podas
Temporada de siembra:	Todo el año
Rendimiento:	75 a 85 toneladas por hectárea
Vigor:	Muy alto
Número recomendado de plantas por hectárea:	20,000 a 25,000
Plantas por metro lineal:	2 a 3
Longitud:	15 a 18 centímetros
Forma:	Rectangular Cónica
Cosecha:	Todo el año
Tipo de planta:	Semi-Determinada
Hábito de crecimiento:	Campo abierto y bajo cobertura
Peso por fruto:	250 a 280 gramos
Thickness Wall GT:	5 a 7 milímetros
Ancho:	5 a 7 centímetros
Distancia de entrenudos:	Corta
Thickness Skin GT:	Gruesa
Lóculos:	3 a 4

Fuente: (Empresa bejo)

5.8 Fertilizante

Sustancia o mezcla química, natural o sintética utilizada para enriquecer el suelo y favorecer el crecimiento vegetal (Quimifca.es, s.f.).

5.8.1 Fertilizantes orgánicos

Los nutrientes contenidos en los materiales orgánicos son originarios del mismo suelo agrícola, excepto en aquellos casos relacionados con los depósitos de Turba y otros cuyas fuentes son procesos químico - biológicos (Quimifca.es, s.f.).

5.8.2 Fertilizantes químicos

Las materias primas para la producción provienen principalmente de yacimientos mineros, cuyas extensiones son relativamente pequeñas (Quimifca.es, s.f.).

Figura 30. Aplicación de abono orgánico a una plántula



Fuente: (Infoagro,2010)

Figura 31. Aplicación de abono químico a una plántula



Fuente: (Infoagro,2010)

5.9 Ingresos

Los ingresos son los recursos que se obtienen por la venta de bienes o servicios, por la prestación de trabajo, por la renta de bienes o por cualquier otro concepto. En el ámbito económico, los ingresos se pueden clasificar de diversas maneras, según su origen, su periodicidad o su naturaleza. (Economipedia, 2020).

5.9.1 Costos

El costo de un producto o servicio es el valor total de los recursos utilizados para producirlo o prestarlo. Se puede calcular de diferentes maneras, pero una forma común es sumar los costos directos e indirectos. Los costos directos son los que se pueden asignar directamente a un producto o servicio específico. Por ejemplo, el costo de los materiales y la mano de obra directa son costos directos. Los costos indirectos son aquellos que no se pueden asignar directamente a un producto o servicio específico. Por ejemplo, el costo de la administración, la publicidad y la distribución son costos indirectos. (Govindarajan, 2021).

5.9.2 Utilidades

En economía, la utilidad es la satisfacción que reporta el consumo de una cantidad adicional de un bien o un servicio. Es un concepto subjetivo, ya que depende de las preferencias individuales de cada consumidor. La utilidad se puede medir de diferentes maneras. Una forma común es utilizar la función de utilidad, que es una ecuación que relaciona la utilidad con la cantidad consumida de un bien o servicio. La utilidad es un indicador importante del desempeño de una empresa. Una empresa que obtiene utilidades positivas es una empresa rentable. (Concepto, s.f.).

VI. HIPÓTESIS

6.1 Hipótesis de la investigación (Hi)

- La utilización de agricultura protegida y fertirriego aumentara el rendimiento productivo de las dos especies de hortalizas en comparación de la media de rendimiento nacional.

6.2 Hipótesis alternativa (Ha)

- Al menos una de las dos especies de hortalizas evaluadas con el fertirriego en el invernadero automatizado aumentara su rendimiento productivo comparado con la media de rendimiento nacional.

6.3 Hipótesis nula (H0)

- La utilización de agricultura protegida y fertirriego no aumenta el rendimiento productivo de ninguna de las dos especies de hortalizas en comparación con la media de rendimiento nacional.

VII. DISEÑO METODOLÓGICO

7.1 Tipo de la investigación

7.1.1 Según el enfoque

Esta es una investigación con enfoque mixto porque utiliza tanto métodos cuantitativos como cualitativos. Los métodos cuantitativos se utilizan para medir el rendimiento productivo de las hortalizas, mientras que los métodos cualitativos se utilizan para comprender los factores que influyen en el rendimiento productivo. El enfoque mixto permite obtener una visión más completa del rendimiento productivo de las hortalizas.

7.1.2 Según el alcance

Es una investigación con alcance correlacional porque se centra en determinar la relación entre dos variables: la especie de hortaliza y el rendimiento productivo. En este tipo de investigación, no se manipula ninguna de las variables, sino que simplemente las mide y observa cómo se relacionan entre sí.

En este caso, la variable independiente es la especie de hortaliza, que se clasifica en dos grupos: tomate y pimiento. La variable dependiente es el rendimiento productivo, que se mide en kilogramos por planta. Se medirá el rendimiento productivo de cada especie de hortaliza y luego analiza la relación entre los dos grupos.

7.1.3 Según el tiempo de ocurrencia

Es una investigación prospectiva que tiene como objetivo identificar las posibilidades de mejora de la producción de hortalizas en condiciones controladas. Los resultados de esta investigación pueden tener un impacto positivo en la producción de hortalizas, ya que pueden contribuir a aumentar la cantidad y calidad de la producción, así como a reducir los costes de producción.

7.2 Localización del proyecto

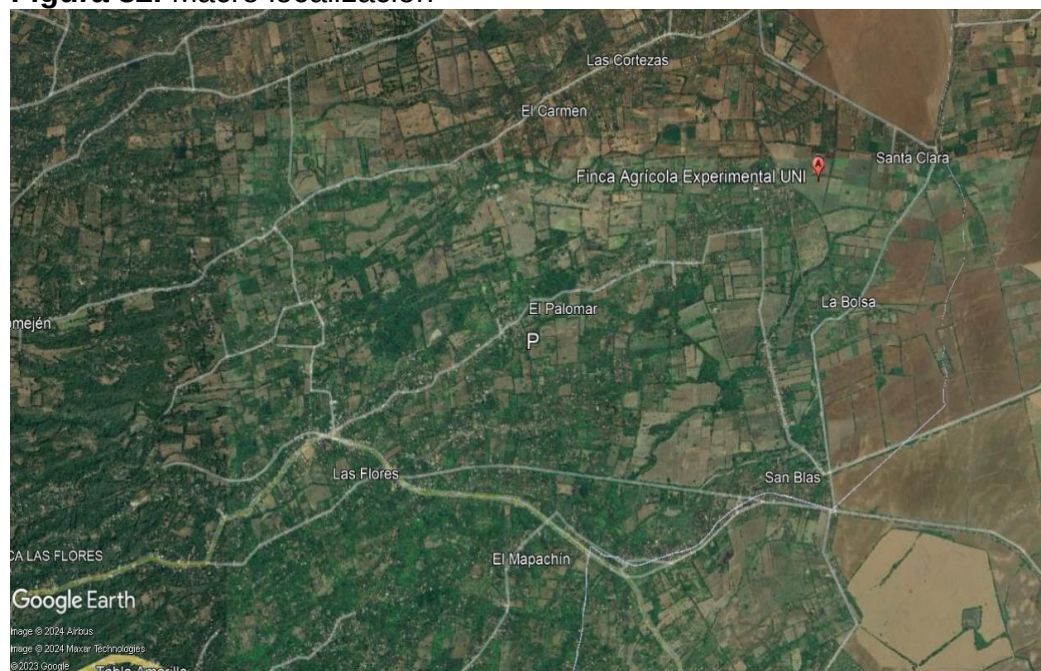
La evaluación del rendimiento productivo de dos especies de hortalizas, se llevó a cabo en un invernadero automatizado, establecido en la Finca Agrícola Experimental (FAE), perteneciente a la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), formando parte del departamento de Ingeniería Agrícola que conforma la Dirección de Área de Conocimiento de la Agricultura.

La finca cuenta con un área de 48.21 manzanas, equivalente a 33.99 hectáreas y se sitúa en la comunidad “La Bolsa”, del municipio de Masaya, departamento de Masaya.

7.2.1 Macro localización

La comunidad La Bolsa, perteneciente al municipio de Masaya, se ubica en el departamento de Masaya, localizado en la región pacífica de Nicaragua, siendo una de las principales ciudades del país, está situada dentro de las coordenadas geográficas 11°58' 28" latitud norte y 86° 05' 39" longitud oeste, el departamento posee una extensión territorial de 590 kilómetros cuadrados (km²).

Figura 32. Macro localización



Fuente: Google Earth 2023.

7.2.2 Micro localización

Esta investigación se llevó a cabo en la Finca Agrícola Experimental (FAE-UNI), ubicada en la comunidad La Bolsa del municipio de Masaya, departamento de Masaya.

Figura 33. Micro localización



Fuente: Google Earth 2023.

7.3 Condiciones edafoclimáticas en el invernadero automatizado

7.3.1 Temperatura

Se monitoreo los cambios de temperatura de manera periódica para verificar que las mismas se mantuvieran dentro del rango adecuado en el interior del invernadero, con el fin de controlar y garantizar el óptimo desarrollo de las especies de hortalizas, para ello se utilizó un termo-higrómetro, equipado con un sensor de temperatura, el cual se colocó dentro del invernadero en un punto estratégico, y los datos fueron registrados en formato tabla en el programa de Excel, luego fueron analizados y representados mediante gráficos estadísticos realizados de igual manera en el programa de Excel de la siguiente manera:

- Gráfico estadístico que muestren la temperatura registrada antes de la nebulización.

- Gráfico estadístico que muestren la temperatura registrada después de la nebulización.
- Gráfico estadístico que muestren la temperatura registrada antes y después de la nebulización.
- Gráfico estadístico que muestren la temperaturas máximas y mínimas diurnas de la nebulización.

Al analizarse de esta manera se determinó la temperatura promedio, mínima y máxima en el invernadero, los resultados obtenidos a través de los datos registrados de temperatura a lo largo del día fueron utilizados para controlar las condiciones agroclimáticas dentro del invernadero, de igual manera se determinó las horas en las que las temperaturas fueron más altas, para activar el sistema de riego por nebulización esto para el enfriamiento del invernadero, de esta manera controlar las temperaturas óptimas para el desarrollo de las hortalizas.

7.3.2 Humedad relativa

Para medir esta variable se utilizaron materiales y equipo como: sensores o higrómetro, el cual se colocó en punto estratégico dentro del invernadero para obtener una lectura representativa de humedad relativa; estas lecturas se tomaron antes de encender los nebulizadores, luego se llevó un control con intervalos de 5 minutos de diferencia por 30 minutos seguidos, para llevar un control de cuanto aumenta la humedad y cuanto desciende la temperatura durante el riego.

Una vez se apagado el sistema de nebulización, se volvió a llevar un control de monitoreo cada 5 minutos por un periodo de tiempo de 30 minutos para monitorear cuanto baja la humedad relativa y como ascendía la temperatura, a través de los resultados obtenidos de los datos levantados durante el proceso de nebulización se podrán controlar parámetros como la ventilación, calefacción y riego en futuros días, de esta manera se mantendrá la humedad del suelo a niveles adecuados y los datos serán registrados en formato tabla en el programa de Excel, luego serán analizados y representados mediante gráficos estadísticos realizados de igual manera en el programa de Excel de la siguiente manera:

- Gráfico estadístico que muestren la humedad relativa registrada antes de la nebulización.
- Gráfico estadístico que muestren la humedad relativa registrada después de la nebulización.
- Gráfico estadístico que muestren la humedad relativa registrada antes y después de la nebulización.
- Gráfico estadístico que muestren la humedad relativa máximas y mínimas diurnas de la nebulización.

7.3.3 Humedad del suelo

Para medir este factor se utilizaron los materiales y equipos como: sensores de humedad, sistema de adquisición de datos o sistema de control, se colocaron los sensores en el invernadero para medir la humedad del suelo en diferentes puntos, estos se colocarán a una profundidad de 10 o 20 cm, se procedió a la calibración de los sensores, a través de muestras de suelo de diferentes niveles de humedad, para que los sensores proporcionen lecturas precisas. A través de los datos recolectados se pueden determinar las propiedades del suelo y los datos fueron registrados en formato tabla en el programa de Excel, luego analizados y representados mediante gráficos estadísticos realizados de igual manera en el programa de Excel de la siguiente manera:

- Gráfico estadístico que muestren la humedad del suelo registrada antes de la nebulización.
- Gráfico estadístico que muestren la humedad del suelo registrada después de la nebulización.
- Gráfico estadístico que muestren la humedad del suelo registrada ante después de la nebulización.
- Gráfico estadístico que muestren la humedad del suelo máximas y mínimas diurnas de la nebulización.

7.3.4 Determinación de las propiedades físico-químicas

Se realizaron una serie de análisis físico-químicos del suelo, a través del levantamiento de una muestra de suelo, en el área en que se llevó a cabo la investigación, luego fue llevada y analizada en el laboratorio de Edafología de la Dirección del Área de Conocimiento de la Agricultura (DACA), donde se llevaron a cabo los procedimientos pertinentes para determinar las propiedades como:

➤ **Potencial de hidrogeno (PH)**

El potencial de Hidrogeno se determinó mediante el uso del PH-metro en el Laboratorio de Edafología

➤ **Recolección de muestras:** Se tomarán muestras de suelo de varias áreas (1 kg por sitio).

➤ **Preparación de la muestra:** Se secará el suelo y se desmenuzará. Las muestras se mezclarán si se desea un promedio.

➤ **Preparación de la solución:** Se mezclarán 1 parte de suelo con 2 partes de agua destilada y se dejará reposar.

➤ **Medición:** Se introducirá la sonda del pH-metro en el líquido y se anotará la lectura cuando se estabilice.

➤ **Limpieza:** La sonda se limpiará con agua destilada después de usarla.

➤ **Interpretación de resultados:** Se considerará un pH < 6.0 como ácido, 6.0-7.5 como neutro, y > 7.5 como alcalino.

➤ **Densidad aparente del suelo**

Primeramente se determino el volumen de la muestra mediante la siguiente formula.

(1)

$$Vm = \pi R^2 \times H$$

Donde:

- ***Vm***= volumen de la muestra
- ***R*** = Radio del cilindro
- ***H*** = Altura del cilindro

La densidad aparente se determini mediante una prueba de laboratorio con la siguiente formula.

(2)

$$Da = \frac{PSS (gr)}{Vm (cm^3)}$$

Donde:

- ***PSS***= Peso del suelo seco
- ***Vm***= volumen de la muestra

➤ **Densidad Real**

Se utilizó la siguiente fórmula para encontrar su valor.

(3)

$$Dr = \frac{Pss}{Ps - (P_2 - P_1)}$$

Donde:

Pss: Peso del suelo seco

P1: Peso del recipiente con agua

P2: Peso del recipiente con agua más suelo

➤ **Porosidad**

Se utilizó la ecuación que se indica a continuación.

(4)

$$\eta(\%) = \left[1 - \frac{Da}{Dr} \right] \times 100$$

Donde:

Da: Densidad Aparente

Dr: Densidad Real

N%: Porosidad en porcentaje

➤ **Capacidad de Campo**

Esta fue la ecuación que se utilizó, para llegar al valor de capacidad de campo.

(5)

$$CC = \frac{PSH_{+T} - PSS_{+T}}{PSS_{+T} - P_T} * 100$$

Donde:

PSH_{+T}: Peso de suelo húmedo más tara

PSS_{+T}: Peso de suelo seco más tara

P_T: Peso de la tara

➤ **Punto de marchitez permanente**

Mediante esta fórmula se obtendrá el valor deseado:

(6)

$$PPM = \frac{CC}{1.85}$$

Donde:

PPM= Punto permanente de marchites

CC= Capacidad de Campo

7.4 Determinación de la adaptabilidad de dos especies de hortalizas en invernadero automatizado.

7.4.1 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental dentro del invernadero que cuenta con 4 naves, cada una de ellas mide 47 metros de largo y 9.6 metros de ancho. Cada una de estas naves está compuesta por 6 surcos, 2 naves corresponden al cultivo de tomate para un total de 12 surcos y las otras 2 naves corresponden al cultivo del pimiento para un total de 12 surcos, en total el invernadero está compuesto por 24 surcos, cada surco en promedio posee 75 plantas.

7.4.2 Variable respuesta

Se consideraron un grupo de variables respuesta, se seleccionaron 4 plantas por surco al azar, para un total de 96 plantas que se usaran como muestras para la elaboración de esta investigación, esto con el fin de obtener datos de cada una de las plantas seleccionadas, se tomaron variables de desarrollo y cosecha, para determinar la adaptabilidad a las condiciones agroclimáticas del invernadero automatizado.

7.4.3 Variables de desarrollo

➤ Altura de la planta (cm)

Se llevó a cabo la medición de la altura del tallo de la planta a los 25 y 50 DDS, para obtener este dato se utilizó una cinta de medición (centímetro), tomando la longitud desde la base del tallo hasta la yema apical.

➤ Diámetro del Tallo (mm):

Para la obtención de este dato correspondiente al diámetro del tallo de la planta se realizó a los 25 y 50 DDS, las medidas se tomaron a la altura de 15 cm después de la base del tallo, haciendo uso de un vernier o pie de rey.

➤ Números de Hojas:

Para obtener el número total de hojas por planta muestreada se contabilizaron de manera manual a los 25 y 50 DDS.

➤ Ancho de la Hoja:

Utilizando un vernier se midió el ancho y largo de la hoja de cada planta seleccionada como muestra, esta medición se llevó a cabo a los 25 y 50 DDS.

➤ Largo de la hoja:

Utilizando una regla se midió el largo de la hoja de cada planta seleccionada como muestra, esta medición se llevó a cabo a los 25 y 50 DDS.

Una vez finalizado el registro de las variables de desarrollo, se transfirieron los datos a formato de tablas mediante el programa de Excel, los datos se promediaron primeramente por surco y luego por nave para obtener los datos promedios de cada variable de desarrollo, estos datos se representaron a través de gráficos estadísticos junto con su respectivo análisis.

7.4.4 Variables de Cosecha

➤ Número de frutos por planta

Se inspecciono cada una de las plantas seleccionadas como muestra y se procedió a contabilizar de forma manual cada uno de los frutos que posee la planta.

➤ Diámetro polar del fruto (mm)

Esto se llevó a cabo con ayuda de un vernier, donde se midió lo largo del fruto dado por la planta seleccionada para muestra

➤ Diámetro ecuatorial del fruto (mm)

La medición del diámetro ecuatorial se efectuó en la zona media alrededor de cada fruto de las plantas muestreadas, haciendo uso de un vernier o pie de rey.

➤ Peso de los frutos por planta (gr)

Se tomó el peso de cada uno de los frutos de las plantas muestreadas haciendo uso de una balanza de precisión.

➤ Rendimiento productivo (ton/ ha):

➤ Para poder obtener el resultado de esta variable se determinó el área total cubierta por cada cultivo a través de las siguientes ecuaciones.

(7)

$$\text{Área del terreno (m}^2\text{)} = \text{Ancho del terreno (m)} \times \text{Ancho del terreno (m)}$$

Número de plantas por surco

Se determinó el número total de plantas por surco a través de la siguiente ecuación.

(8)

Número de plantas por surco

$$= \text{Largo del surco (m)} / \text{Espaciamiento entre planta (m)}$$

Número total de plantas en el área

Se determinó el número total de plantas existentes dentro del área del terreno por cultivo, a través de la siguiente ecuación:

(9)

Número total de plantas

$$= \text{Número de plantas por surco} * \text{Número total de surcos}$$

Número de plantas muestreadas

Para determinar el número de plantas muestreadas se utilizó la siguiente ecuación:

(10)

Número total de plantas muestreadas

$$= \text{Número de plantas muestreadas por surco} * \text{Número total de surcos}$$

Número total de frutos cosechados

Para determinar el número total de fruto, se sumaron, el número total de frutos cosechados durante cada uno de los cortes que se le realizaron a las plantas muestreadas y luego se realizó la suma total para determinar el número total de frutos que se cosecharon.

Peso promedio de los frutos cosechados

Para determinar el peso promedio del fruto, se realizó primeramente la sumatoria del peso de los frutos cosechados por corte y luego se obtuvo el promedio general de todos los pesos y así se determinó el peso promedio general de cosecha.

Número promedio de frutos por planta en la muestra

Se determinó el número de frutos por planta a través de la siguiente ecuación:

(11)

$$\text{fruto por planta} = \frac{\text{número total de frutos por planta}}{\text{número de plantas muestreadas}}$$

Peso promedio de frutos por plantas en la muestra

Para determinar este dato, se realizó a través de la siguiente ecuación:

(12)

$$\text{peso total por planta} = \text{frutos por planta} \times \text{peso promedio de los frutos}$$

Rendimiento total del cultivo en el área de 902 m²

El rendimiento total se determinó a través de la siguiente ecuación:

(13)

$$\text{Rendimiento total} = \text{Peso promedio por planta} \times \text{Numero total de plantas}$$

Rendimiento por metro cuadrado

A través de siguiente ecuación se determinó el rendimiento en 1 metro cuadrado:

(14)

$$\text{Rendimiento} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) = \frac{\text{Rendimiento total}}{\text{Area total}}$$

Proyección del rendimiento a una hectárea (10,000 m²)

La proyección del rendimiento se determinó a partir de la siguiente ecuación:

(15)

$$\text{Rendimiento} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) = \text{Rendimiento} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) \times 10,000 \text{m}^2$$

Conversión del rendimiento a toneladas por hectárea (ton/ha)

A través de la siguiente ecuación se determinó el rendimiento que obtuvieron los cultivos y se realizó un análisis comparativo con las variables descriptoras.

(16)

$$Rendimiento \left(\frac{ton}{ha} \right) = \frac{Rendimiento \left(\frac{kg}{ha} \right)}{1000}$$

7.5 Determinación de los costos de producción y rentabilidad de los cultivos establecidos

7.5.2 Costos de producción

Los costos de producción para la puesta en marcha del cultivo de las dos especies de hortalizas cultivadas en el invernadero automatizado, están en base a los precios de los insumos e implementos que ofrecen las distintas empresas agrícolas proveedores, para lo cual, se llevó a cabo un registro detallado de todos los gastos en los que se incurrió para la producción de los cultivos, tomando en cuenta, costos de insumos, mano de obra, maquinaria, equipos y labores antes, durante y después del establecimiento del cultivo. Para determinar los costos de mano obra del estudio, se determinaron en base a los salarios establecidos por el Ministerio del Trabajo (MITRAB) basados en las leyes laborales del país.

Para calcular los costos totales de producción, se sumaron los costos de cada uno de los insumos, mano de obra, maquinarias, equipos y labores antes, durante y después del establecimiento del cultivo, estos fueron representados en tablas elaboradas con el programa de Excel.

7.5.3 Utilidades del proyecto

Para determinar la rentabilidad de las dos especies de hortalizas, se determinó el ingreso de la producción, mediante la comercialización de las hortalizas producidas, estas fueron ofertadas en el mercado local del departamento de Masaya.

➤ Cálculo del Ingreso Total

Primeramente, se determinó el peso promedio de la malla en el caso del pimiento con la siguiente ecuación:

Pimiento

(17)

$$\text{Peso promedio de la malla} = \frac{\text{Peso total de todas las mallas cosechadas}}{\text{Número de mallas cosechadas}}$$

✚ A través de la siguiente ecuación se determinará el peso por planta

(18)

$$\text{Peso total por planta} = \frac{\text{Numero total de frutos por planta}}{\text{Peso promedio de fruto}}$$

✚ El peso de la producción total se determinó en base a la siguiente ecuación:

(19)

$$\text{Peso total de producción} = \text{Peso total por planta} * \text{Número total de Plantas}$$

✚ Se determinó el número total de mallas cosechadas durante el ciclo productivo, a través de la siguiente ecuación.

(20)

$$\text{Numero total de malla cosechadas} = \frac{\text{Peso total de producción}}{\text{Peso promedio de malla}}$$

✚ Para determinar el ingreso total del proyecto por cultivo se utilizó la siguiente ecuación:

(21)

$$\begin{aligned} & \text{Ingresos totales} \\ &= \text{Numero total de malla cosechadas} * \text{Precio de mercado de la malla} \end{aligned}$$

Una vez conocido el ingreso total de la venta de las hortalizas se realizó una relación costos/utilidades, todos los costos de producción se les restaran a los ingresos utilizando la siguiente ecuación:

(22)

$$\text{Utilidades} = \text{Ingresos} - \text{Costos de Producción}$$

VIII. RESULTADOS Y DISCUSION

El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar la viabilidad de dos especies de hortalizas (tomate y pimiento), en un invernadero automatizado, considerando las condiciones edafoclimáticas de la Finca Agrícola Experimental (FAE-UNI), de igual manera se recopilaban datos sobre las variables de respuesta y los costos de producción, en función de la determinación de las utilidades del proyecto, así como el comportamiento en toda la etapa fenológica de los cultivos anteriormente citados.

En la figura 34, se hace una representación visual de las instalaciones del invernadero automatizado ubicado en la Finca Agrícola Experimental (FAE-UNI), en donde se establecieron las dos especies de hortalizas evaluadas.

Figura 34. Instalaciones del invernadero automatizado



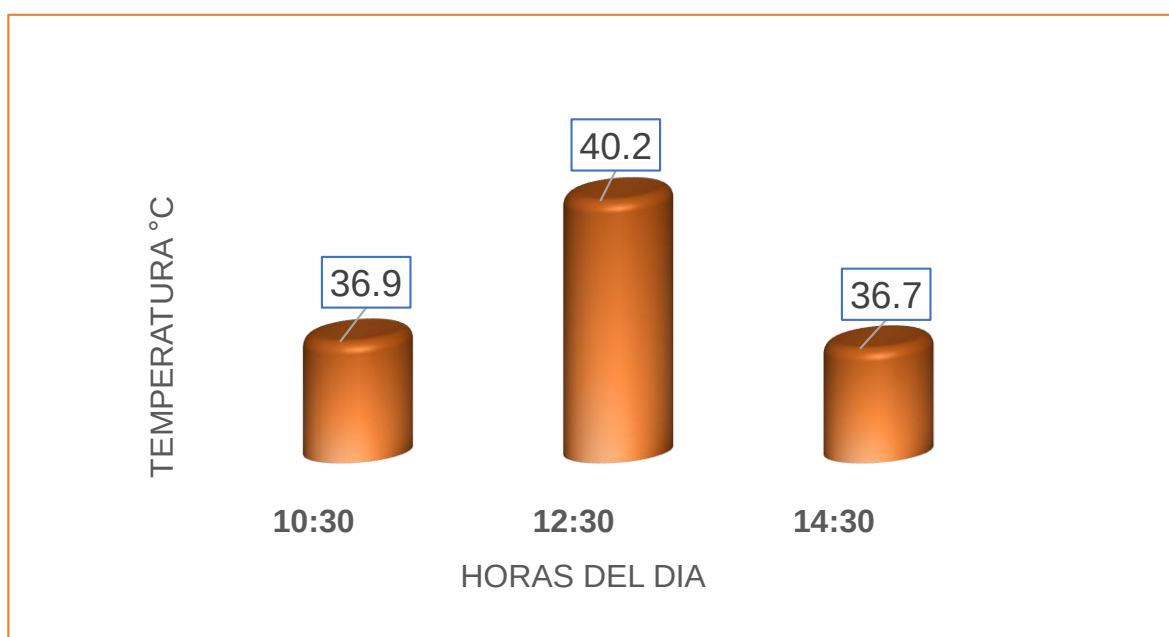
Fuente: Página oficial de Facebook, Técnico superior en tecnología de riego.

8.1 Resultados de las condiciones edafoclimáticas dentro del invernadero automatizado

La adaptabilidad de las especies de tomate y pimiento a los sistemas de invernadero automatizados se puede medir a través de la respuesta de las plantas a las condiciones controladas de ambiente y fertirriego. Según un estudio de García-Caparrós et al. (2023), los cultivos de pimiento mostraron una adaptabilidad mejorada a un invernadero automatizado, con un manejo preciso de temperatura, humedad y nutrientes, resultando en un crecimiento más uniforme y un menor estrés hídrico.

➤ Temperatura antes de la nebulización en las horas más críticas

Figura 35. Temperaturas registradas antes de la nebulización



Fuente: Elaboración propia

En la figura 35, se representan las temperaturas promedio registradas dentro del invernadero, durante 60 días (Ver Tabla 20). Estas temperaturas fueron registradas, a las 10:00 am, 12:00 pm y 14:00 pm. La temperatura alcanza un máximo de 40.2 °C a las 2:00 horas y un mínimo de 36.7°C a las 10:00 horas, antes de la aplicación de

irrigación para enfriamiento; la temperatura diurnas en promedio registrada fueron 37.9 °C.

Consecuencias del estrés por calor en cultivos

- Temperaturas por encima de 30°C, pueden inhibir el crecimiento vegetativo y la producción de frutos en tomates y pimientos.
- Temperaturas por debajo de 15°C, reducen la tasa de fotosíntesis, impactando el desarrollo de las plantas.

Estos efectos han sido documentados en estudios realizados en invernaderos en regiones de clima cálido en Latinoamérica, como el trabajo de (Rivera, 2021) en México y el estudio de (Perez L. , 2020) en Colombia.

Estrategias de manejo de temperatura

Para mantener condiciones óptimas en el invernadero, se llevaron acabo tecnicas de enfriamiento, esto con el fin de bajar las temperaturas y mantener un rango optimo dentro del invernadero.

- **Pantalla:** Es de suma importancia porque reduce la entrada de los rayos de luz directamente dentro del invernadero, se cerraba y se aperturaba la pantalla, como sugieren en un estudio realizado en un invernadero de Chile por (GGonzález, 2019).
- **Nebulización:** El tiempo de nebulizacion fue de 30 minutos para evitar encharcamientos, de esta manera se logro bajar las temperaturas en horas mas criticas, esto como parte del metodo de bajar las temperatura mediante la evaporación del agua, una técnica eficaz reportada en chile por (GGonzález, 2019).

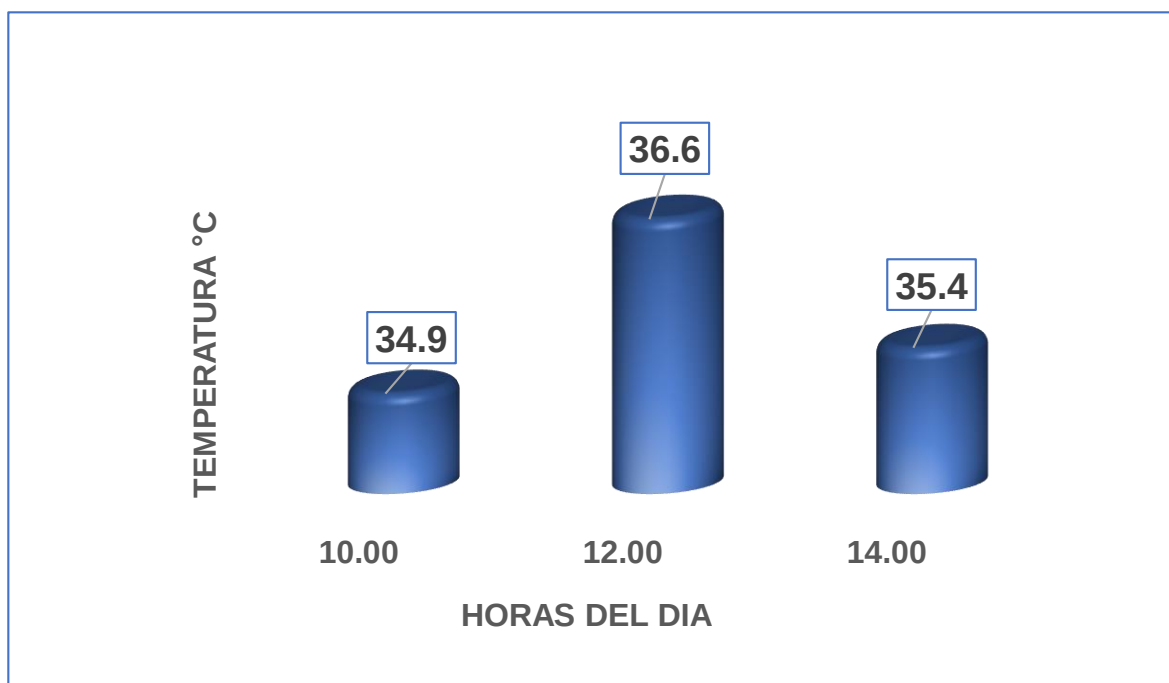
Monitoreo y control de temperatura

El control de la temperatura en el invernadero fue mediante el uso del higrometro garantizando datos de humedad relativa, temperatura del aire; la temperatura del

suelo, la conductividad eléctrica, humedad de suelo, se utilizó el instrumento reflectometría de dominio del tiempo (TDR). Estas conclusiones fueron consistentes con investigaciones realizadas en diferentes países de Latinoamérica, demostrando la eficacia de estas técnicas en diversas condiciones climáticas. Fue esencial un monitoreo continuo de la temperatura para conocer el comportamiento de las variables climáticas en nuestras latitudes del trópico.

➤ **Temperaturas después de la nebulización**

Figura 36. Temperaturas registradas después de 30 minutos de nebulización



Fuente: Elaboración propia

En la figura 36, se representa los datos de las temperaturas del aire, tomadas dentro del invernadero 30 minutos después de la nebulización (Ver Tabla 20). Es decir, una vez que concluyo el proceso de enfriamiento, a las 10:30 se registró una temperatura de 34.9°C, a las 12:30 se registró una temperatura de 36.6°C y a las 14:30 se registró una temperatura de 35.4°C, recalando que estos son datos promedios de 2 meses de recolección en campo.

Efectos Positivos

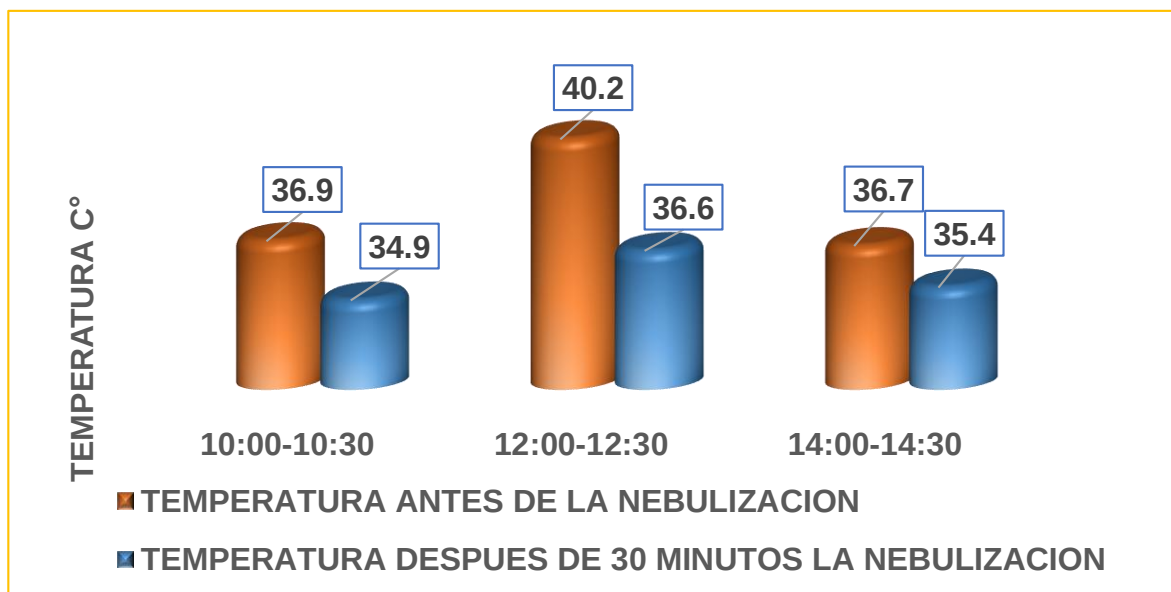
- **Fotosíntesis:** Las temperaturas óptimas facilitan la fotosíntesis, el proceso por el cual las plantas convierten la luz solar en energía química. La eficiencia fotosintética es mayor dentro del rango de temperatura ideal, lo que promueve un crecimiento vegetativo vigoroso (Thierry Boulard, 2011).
- **Respiración Celular:** La respiración celular, que es el proceso metabólico que convierte la glucosa en energía utilizable por las células, es más eficiente a temperaturas óptimas. Esto mejora el metabolismo general de las plantas y su capacidad para crecer y desarrollarse (Boulard, 2011).
- **Absorción de Nutrientes:** Un ambiente térmico adecuado mejora la absorción de nutrientes esenciales del suelo, tales como nitrógeno, fósforo y potasio, que son fundamentales para el desarrollo de las plantas (Marschner, 2012).
- **Crecimiento:** Estas condiciones térmicas favorecen el crecimiento robusto de las plantas y promueven una mayor producción de flores y frutos, lo que es crucial para maximizar el rendimiento de los cultivos en términos cuantitativos y cualitativos (Heuvelink E. , 2005).
- **Resistencia:** Las plantas desarrolladas en un rango de temperatura ideal son más resistentes a plagas y enfermedades. Esto se debe a que un ambiente óptimo reduce el estrés en las plantas, permitiéndoles destinar más recursos a sus mecanismos de defensa natural (Agrios, 1995).

Estudios sobre agricultura protegida han demostrado que la regulación térmica mediante técnicas como la nebulización puede incrementar significativamente la eficiencia del uso del agua y mejorar el microclima dentro del invernadero, lo que resulta en una mayor productividad y calidad de los cultivos (C. Stanghellini, 2011).

Además, la investigación ha confirmado que el control ambiental preciso es fundamental para mantener la salud y el rendimiento de los cultivos, minimizando los efectos negativos de las condiciones climáticas adversas (Thierry Boulard, 2011).

➤ **Análisis comparativo de las temperaturas antes y después de la nebulización**

Figura 37. Comparación de las temperaturas registradas antes y después de la nebulización.

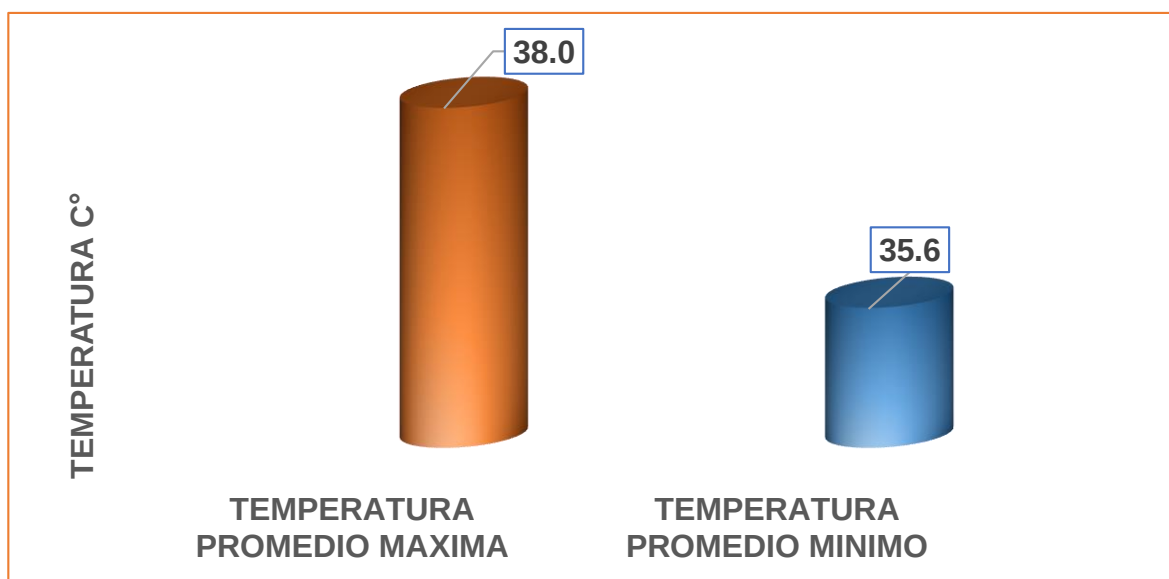


Fuente: Elaboración propia

En figura 37, se analizó la comparación de temperaturas antes y después de la nebulización, son promedios de temperaturas registrados durante 60 días dentro del invernadero. Las barras indican los promedios de temperatura para cada hora del día.

En general, la temperatura antes de la nebulización es notablemente más alta que después de la nebulización, siendo la diferencia más marcada durante las horas del mediodía cuando la temperatura ambiente es mayor, a las 10:00 am se tiene una temperatura de 36,9°C y después de la nebulización logra bajar a 34.9°C, teniendo una fluctuación de 2°C, a las 12:00 pm se registra una temperatura de 40.2°C y luego de la nebulización logra bajar a 36.6°, teniendo una fluctuación de temperatura de 3.6°C y por ultimo a las 14:00 pm se registra una temperatura de 36.7°C y luego de la nebulización logra bajar a 35.4°C teniendo una fluctuación de temperatura de 1.3°C.

Figura 38. Temperaturas promedio diurnas, durante 60 días de monitoreo y registro



Fuente: Elaboración propia

En la figura 38, se muestran las temperaturas diurnas en promedio registrada, las cuales fueron 38°C máxima y 35.6°C mínima, lo que excede el rango óptimo de crecimiento para el tomate, según (Jorge Jaramillo Noreña, 2006), nos dice que las temperaturas óptimas son: temperatura diurna mínima 23°C y como máxima 28°C, de igual manera el pimiento (20-27 °C). Las temperaturas elevadas, como la máxima de 41°C, pueden inducir estrés térmico en estas plantas, afectando negativamente su rendimiento productivo (Minguez., 1995).

8.1.2 Humedad relativa

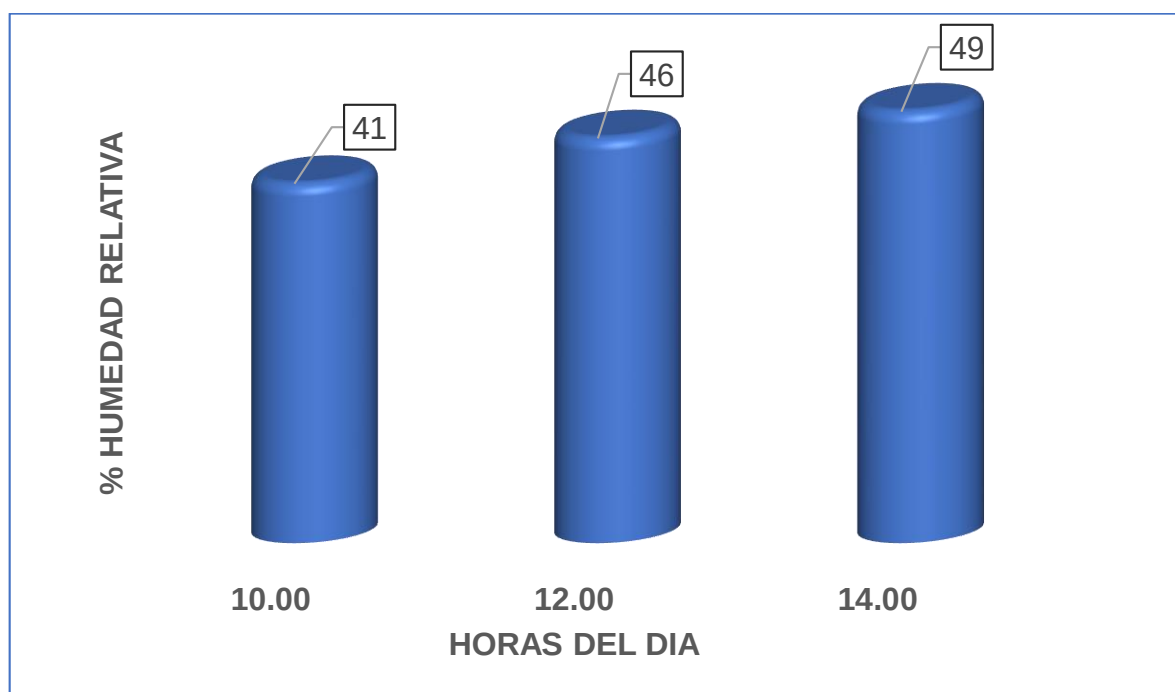
La humedad relativa es la cantidad de agua contenida en el aire, y está relacionada con la humedad absoluta (cantidad de vapor de agua por m³ de aire) y el punto de saturación (cantidad máxima de vapor de agua que admite el aire a una determinada temperatura), (Nutricontrol Automatic fertigation & climate control, 2020).

La humedad relativa en un invernadero es un factor climático que se relaciona con la transpiración, y es imprescindible para que el intercambio gaseoso y la fotosíntesis se pueda llevar a cabo. Dependiendo de la especie, los niveles de humedad más favorables para el desarrollo de los cultivos se encuentran entre el

50%-75%, salirse de estas condiciones ideales de humedad puede provocar efectos adversos sobre el rendimiento de los cultivos (Nutricontrol Automatic fertigation & climate control, 2020).

➤ **Humedad Relativa antes de la nebulización en las horas más críticas**

Figura 39. Registro de humedad relativa promedio antes de la nebulización, tomadas en tres horas del día



Fuente: (Elaboración propia).

En la figura 39, se representan los valores recopilados de humedad, en promedio dentro del invernadero durante 60 días. Estos valores corresponden a las horas registradas durante el día, a las 10:00 am, 12:00 pm y 14:00 pm, estos datos fueron registrados antes de iniciar el proceso de nebulización, la humedad relativa se mantiene en un valor máximo promedio de 49% a las 14:00 pm y un valor mínimo promedio de 41% a las 10:00 am, antes de iniciar el proceso de irrigación para enfriamiento; la humedad relativa diurna en promedio fue de 45.3%.

Efectos adversos sobre la planta si hay una humedad relativa baja:

- El déficit de humedad hace que la planta tenga que hacer un sobreesfuerzo por mantener las estomas abiertas, y esto puede ocasionar que se marchite por deshidratación.

- También afecta a la producción, pues hay una pérdida de calidad del fruto y un menor cuaje.

Estos efectos han sido documentados en estudios realizados en invernaderos en regiones de clima cálido en Latinoamérica, como el trabajo de (Rivera, 2021) en México y el estudio de (Perez L. , 2020) en Colombia.

Transpiración y Balance Hídrico:

Pimiento: Estudios como los de (González-Dugo, Durand, & Gastal, 2010), han demostrado que el pimiento (*Capsicum annuum*), tiene una alta sensibilidad a las condiciones de humedad relativa baja, lo que puede incrementar la transpiración y provocar un déficit hídrico en las plantas. La insuficiencia de agua puede afectar el crecimiento vegetativo y reducir el rendimiento productivo.

Tomate: Según (Welles, 2005), los tomates (*Solanum lycopersicum*) también presentan un incremento en la transpiración bajo condiciones de baja humedad relativa. Este aumento puede conducir a un estrés hídrico que afecta la fotosíntesis, la formación de frutos y la calidad del producto final.

Susceptibilidad a Enfermedades:

Pimiento: La baja humedad relativa puede reducir la incidencia de enfermedades fúngicas como el mildiú, pero puede aumentar la susceptibilidad a plagas como los ácaros, que prosperan en condiciones secas (Morales, Sánchez-García, & Guzmán, 2010).

Tomate: Similarmente, una menor humedad puede disminuir enfermedades fúngicas como la Botritis cinérea, pero también puede hacer que las plantas sean más susceptibles a plagas como la araña roja (Coffey, Elmore, & Shenk, 2016).

Desarrollo y Calidad del Fruto:

Pimiento: Estudios han indicado que la calidad del fruto en pimientos se ve comprometida con la baja humedad relativa debido al aumento en la caída de flores y la mala polinización (L.F.M. Marcelis, 1998).

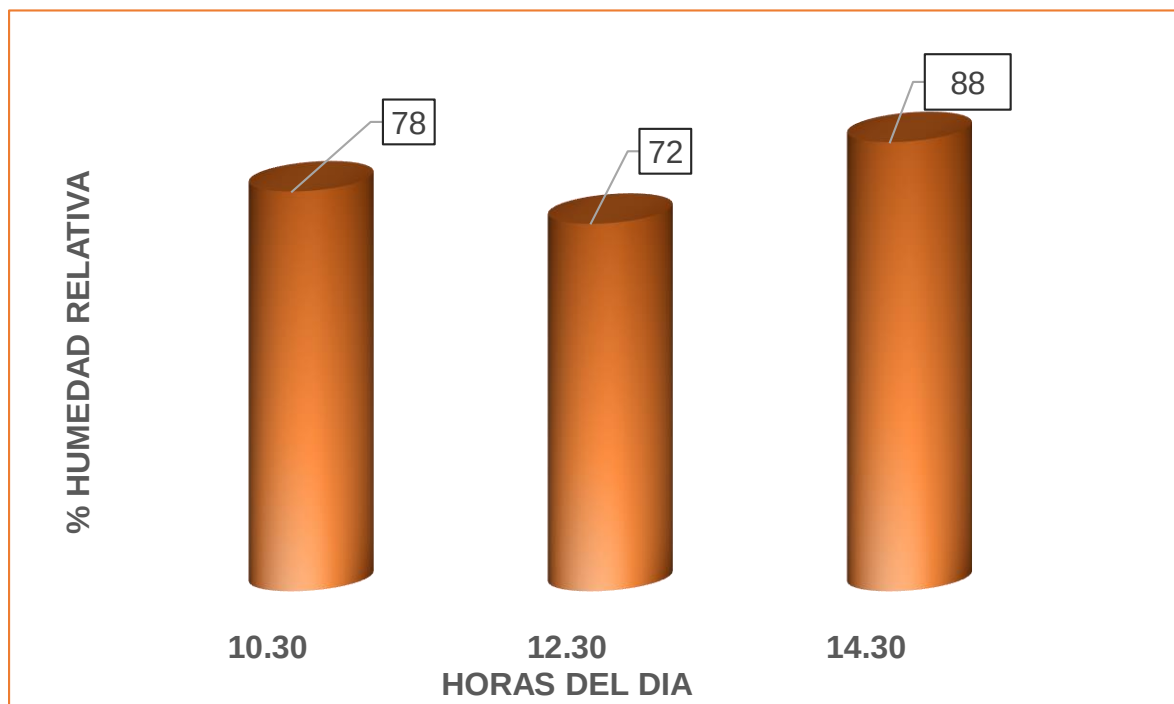
Tomate: El desarrollo de los frutos de tomate puede verse afectado negativamente, resultando en frutos de menor tamaño y peso, con una piel más gruesa y menos jugosa (S. R. Adams, 2001).

Estrategias de manejo de la humedad relativa

- **Ajuste del Sistema de Nebulización:** Se implementó un sistema de nebulización más frecuente y prolongada para elevar la humedad relativa a niveles óptimos.
- **Monitoreo Riguroso:** Se utilizaron higrómetros y sensores de humedad para un monitoreo continuo y ajustes dinámicos del sistema de nebulización.
- **Optimización de la Ventilación:** Se aseguró una adecuada ventilación para que permitiera el control preciso de la humedad relativa sin comprometer otros factores climáticos dentro del invernadero.

➤ Humedad relativa después de la nebulización

Figura 40. Registro de humedad relativa promedio después de la nebulización, tomadas en tres horas del día



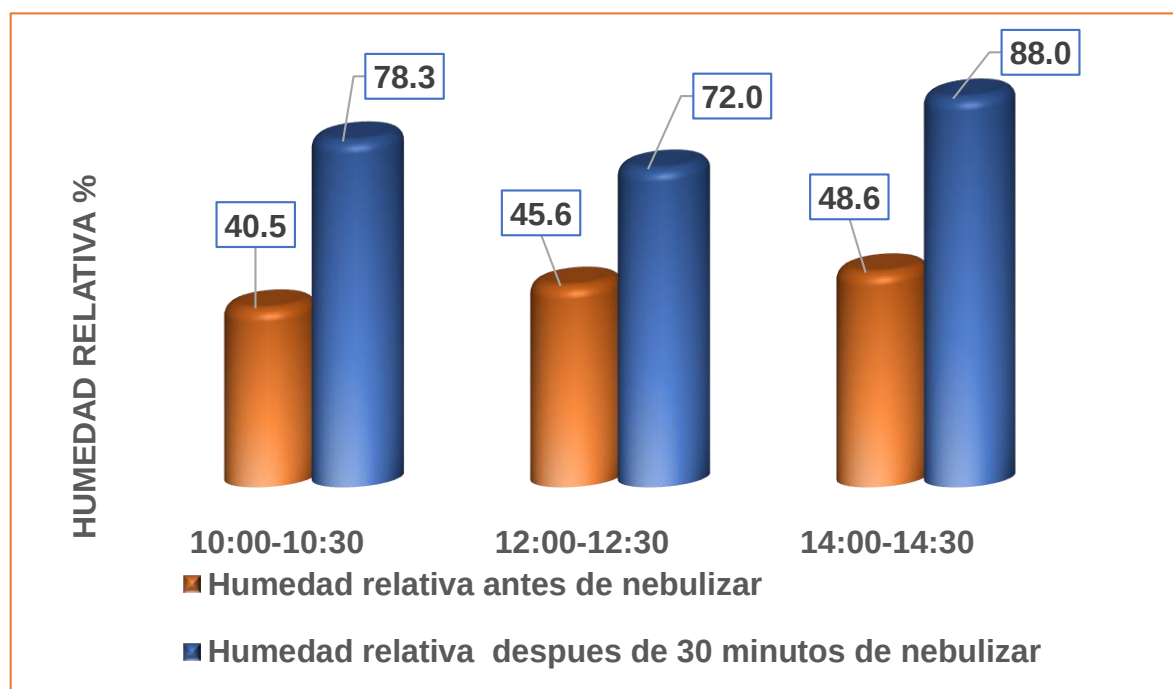
Fuente: Elaboración propia

En la figura 40, se representa la humedad relativa promedio registrada dentro del invernadero durante 60 días. Estos datos se tomaron 30 minutos después de la nebulización, es decir una vez que finalizo el proceso, a las 10:30 am se registró una humedad relativa de 78%, a las 12:30 pm una humedad relativa de 72% y a las 14:30 pm una humedad relativa de 88% siendo la más alta, aclarando que estos son datos promediados de 2 meses de recolección, se obtuvo una humedad relativa diurna en promedio de 79.33%.

Efectos adversos sobre la planta si hay una humedad relativa alta:

- El exceso de humedad reduce la transpiración, lo que disminuye la absorción de nutrientes y afecta al crecimiento de la planta.
- Además, dificulta la polinización y favorece la propagación de plagas y enfermedades.

Figura 41. Comparación de la humedad relativa promedio registradas antes y después de la nebulización



Fuente: Elaboración propia

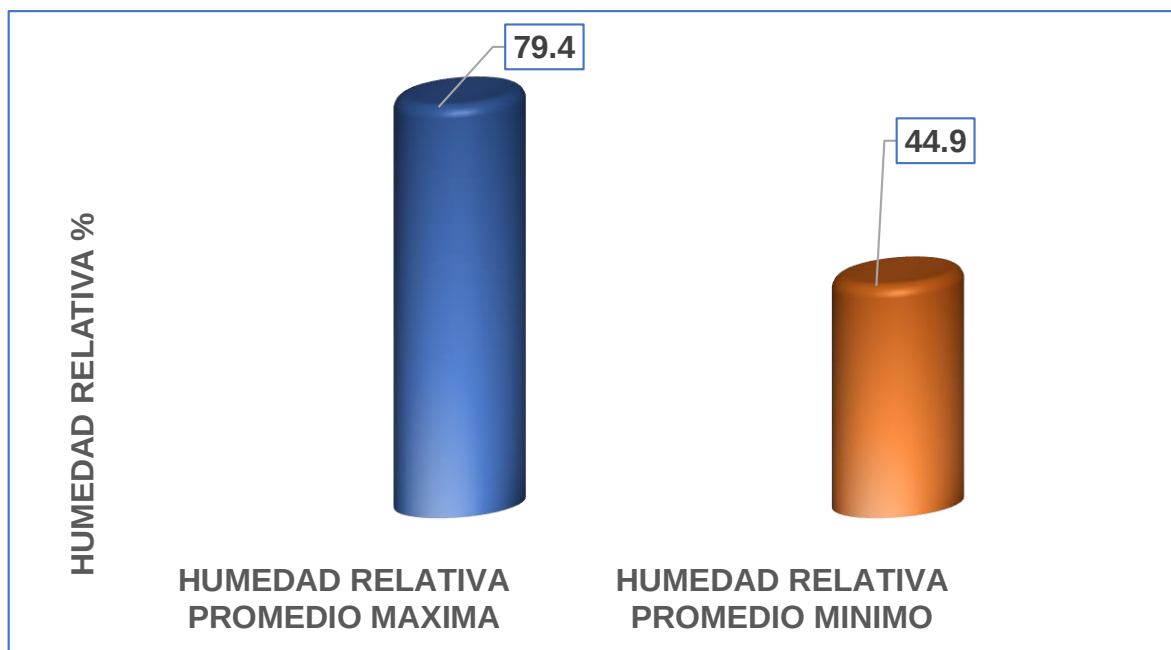
En figura 41, se analizó la comparación de la humedad relativa promedio antes y después de la nebulización, son datos promediados de 60 días registrados dentro del invernadero.

En general, la humedad relativa antes de la nebulización es notablemente baja, lo que puede ser perjudicial para el desarrollo óptimo de las hortalizas, a las 10:00 am se tiene una humedad relativa de 41% y después de la nebulización se registra un ambiente más húmedo de 78%, teniendo un aumento de 37%; a las 12:00 pm se registra una temperatura de 46% y luego de la nebulización se registra un valor de 72%, logrando aumentar 26% y por ultimo a las 14:00 pm se registra una humedad relativa de 49% y luego de la nebulización se registra una humedad relativa de 88%, aumentando un 39%.

A través del artículo divulgado por la compañía (Nutricontrol Automatic fertigation & climate control, 2020), especializada en el diseño y montaje de invernaderos para la producción de vegetales en condiciones controladas, se aborda la relevancia de gestionar de una manera adecuada la humedad relativa en niveles óptimos. En el informe titulado “La humedad relativa en invernadero”, se señala que la humedad relativa óptima para el desarrollo y fructificación de los cultivos, para el tomate una humedad relativa mínima de 40% y una humedad relativa máxima de 60%, en el caso del pimiento establece una humedad relativa máxima de 70% y una humedad relativa mínima del 50%.

➤ **Humedad relativa diurna**

Figura 42. Humedad relativa promedio diurna, durante 60 días de monitoreo y registro



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 42, se puede observar que se obtuvo una humedad relativa diurna mínima en promedio de 44.9% y un valor de humedad relativa diurna máxima de 79.4%, estos valores se analizaron en base al cultivo del tomate para determinar su efectividad, podemos decir que la humedad relativa mínima está dentro del rango óptimo, pero la humedad relativa máxima está 9.4% por encima del valor máximo de humedad relativa óptima para el cultivo de tomate que es de 70%.

De igual manera analizando la figura 46, para el cultivo del pimiento la humedad relativa mínima óptima establecida para el pimiento es de 50% y máxima de 70%. Los valores que se obtuvieron de los datos analizados, da como resultado que la humedad relativa mínima está por debajo de lo apropiado y la humedad relativa máxima está 9.4% por encima del rango óptimo que es de 70%, es decir no se cumplieron con los valores requeridos para que los dos cultivos se puedan desarrollar de manera satisfactoria.

Sin embargo, existen otras investigaciones en donde se obtuvieron valores similares de humedad relativa máxima y mínima, a los que se registraron dentro del invernadero automatizado de la Finca Agrícola Experimental (FAE), obteniendo resultados satisfactorios en crecimiento y producción.

En el estudio de (Silva, 2020), brinda información sobre la respuesta de pimientos y tomates a diferentes niveles de humedad relativa en invernaderos, en donde concluyó que una humedad relativa del 70% a 80% optimiza la transpiración y la fotosíntesis, mejorando el crecimiento y rendimiento de las plantas (Dr. Pedro Silva, 2020).

En la investigación llevada a cabo por (Pérez, 2003-2004), habla sobre las condiciones de baja humedad relativa (40%-50%), se observó una reducción significativa en el rendimiento de tomates y pimientos debido al estrés hídrico y la menor eficiencia en el uso del agua (Jerónimo J. Pérez-Parra, 2003-2004).

Efecto de la Humedad Relativa (HR) en las Variables Fisiológicas:

- **Transpiración:** La HR influye significativamente en la transpiración de las plantas. Una HR óptima (50-75%) promueve la apertura estomática, mejorando la absorción de agua y nutrientes, y facilitando la fotosíntesis. HR demasiado alta (>85%) puede causar el cierre estomático, reduciendo transpiración y fotosíntesis, y afectando la absorción de nutrientes. HR baja (<40%) puede inducir estrés hídrico y marchitamiento.
- **Fotosíntesis:** Este proceso es esencial para el crecimiento de las plantas y es afectado por la HR. Una HR adecuada facilita la entrada de CO₂ por la apertura estomática, favoreciendo la fotosíntesis. HR alta puede limitar la entrada de CO₂ por cierre estomático, y HR baja puede dañar la maquinaria fotosintética debido al estrés hídrico.
- **Absorción de Nutrientes:** La HR influye en la absorción de agua y nutrientes por las raíces. HR ideal (50-75%) facilita esta absorción. HR elevada puede provocar encharcamiento, reduciendo el oxígeno disponible en el suelo y

afectando la absorción de nutrientes. HR baja puede causar estrés hídrico, afectando negativamente la absorción de nutrientes.

Impacto en el Desarrollo Vegetativo y Productivo:

- **Crecimiento Vegetativo:** Una HR en el rango adecuado (50-75%) favorece el desarrollo de tallos, hojas y raíces. HR alta puede propiciar enfermedades fúngicas y el alargamiento débil de los tallos (etiolación), mientras que HR baja puede causar marchitamiento y retardar el crecimiento.
- **Floración y Fructificación:** La HR adecuada apoya la apertura de flores, la polinización y la formación de frutos. HR excesiva puede dificultar la polinización y favorecer enfermedades en flores y frutos. HR baja puede provocar aborto floral y estrés hídrico.
- **Calidad del Producto:** La HR influye en el tamaño, color, sabor y textura de los frutos. HR adecuada produce frutos de alta calidad. HR alta puede causar agrietamiento, sabor insípido y mayor susceptibilidad a enfermedades postcosecha. HR baja puede resultar en frutos pequeños y secos.

Según investigaciones llevadas a cabo por estación experimental de Cajamar “Las Palmerillas, demostraron que la nebulización en invernaderos incrementa significativamente el rendimiento de tomates y pimientos, manteniendo niveles de humedad ideales similares a los resultados obtenidos en nuestra investigación (Jerónimo J. Pérez-Parra, 2003-2004).

Según una investigación llevada a cabo por la Universidad Nacional de Colombia encontró que los nebulizadores automatizados mejoran la calidad y tamaño de los frutos de tomate al mantener una humedad relativa entre 75% y 85% (Dr. Carlos Gómez, 2019) .

Otro estudio llevado a cabo por la Universidad Estatal de Campiñas, se demostró que la nebulización reduce la incidencia de plagas y enfermedades en cultivos de

pimiento, manteniendo niveles de humedad constantes y adecuados (Dr. Pedro Silva, 2020).

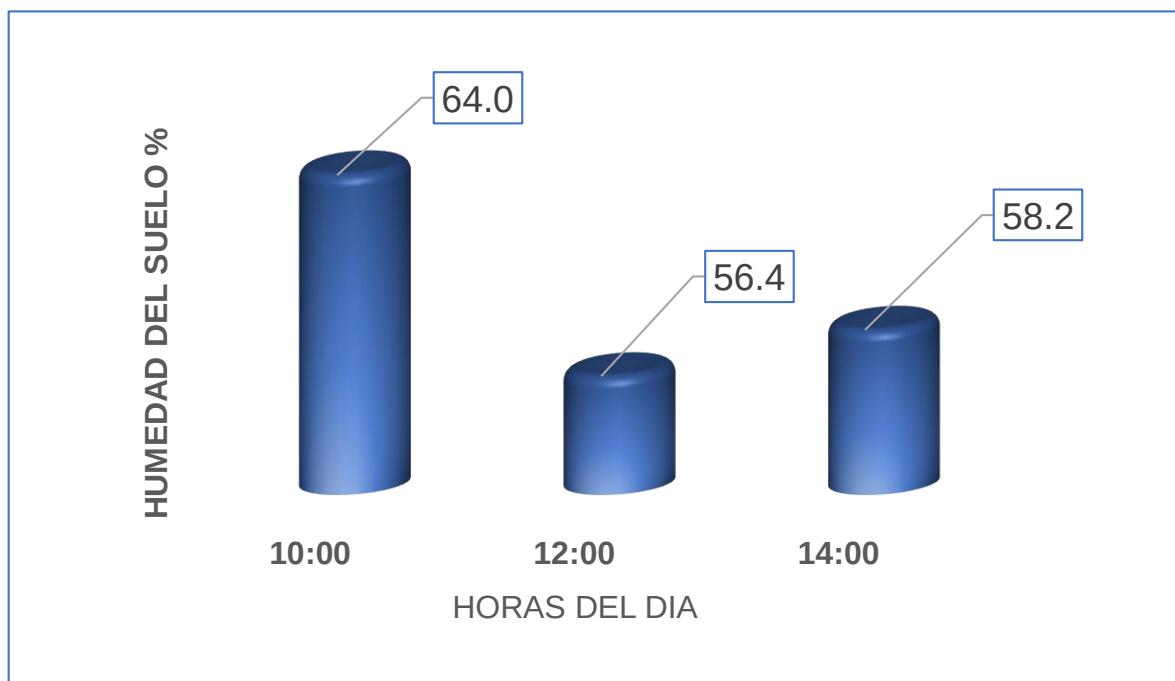
Estos estudios corroboran que la nebulización es una técnica efectiva para controlar la humedad relativa, beneficiando el desarrollo óptimo de cultivos como pimiento Caudillo F1 y tomate Pachuca. El análisis de la humedad relativa en el invernadero de la Finca Experimental Agrícola (FAE), de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) ubicada en las Flores, Masaya, revela un ambiente subóptimo para el cultivo de pimiento Caudillo F1 y tomate Pachuca. La comparación con estudios similares en América indica que aumentar y mantener la humedad relativa dentro del rango recomendado (60%-80%) puede mejorar el rendimiento y la salud de las plantas.

8.1.3 Humedad del suelo

Según (Taiz, L., & Zeiger, E., 2006). La humedad del suelo es un factor fundamental que afecta directamente el crecimiento y desarrollo de las plantas, tanto en ambientes naturales como en condiciones controladas, como un invernadero o un laboratorio. Al manipular la humedad del suelo, los científicos y cultivadores pueden optimizar el rendimiento de los cultivos y llevar a cabo investigaciones más precisas.

➤ **Humedad del suelo diurna promedio**

Figura 43. Humedad del suelo promedio



Fuente: Elaboración propia

En la figura 43, se muestra la humedad del suelo diurna promedios registrados a las 10:00 am de 64%, a las 12:00 pm registro 56.4% y a las 14:00 pm se registró un valor de 58.2%, manteniéndose una humedad de suelo en general de 59.53%, indicando condiciones de capacidad de campo.

Según un artículo publicado por la empresa (PRISMAB), que se dedica al comercio y asesoría de sensores de última generación para controlar factores edafoclimáticos dentro de invernaderos, para la producción de hortalizas en ambientes controlados, habla sobre la importancia de controlar la humedad en el suelo. En el artículo que se titula “Cuál es el nivel de humedad que puede soportar el suelo de un cultivo”, se menciona que “diferentes cultivos tienen distintos requerimientos de humedad y el rango óptimo de humedad para soportar un crecimiento saludable de las plantas depende de numerosos factores como el tipo de suelo, el clima y el cultivo específico que se está cultivando. Sin embargo, en general, la mayoría de los cultivos

prosperan en suelos que mantienen niveles de humedad entre el 50% y el 75% de su capacidad de retención de agua (Martorell, 2024).”

Partiendo de la información citada en el párrafo anterior, se puede decir que los resultados obtenidos a través del registro de esta variable edafoclimáticas durante 60 días, fueron óptimos, ya que se encuentran dentro de los valores requeridos, para el desarrollo y fructificación adecuados.

Para garantizar niveles óptimos de humedad del suelo, es crucial vigilar y gestionar regularmente el contenido de humedad. El exceso de humedad puede provocar encharcamiento y sofocar las raíces de las plantas, mientras que la falta de humedad puede resultar en estrés por sequía y obstaculizar el crecimiento de los cultivos (Martorell, 2024).

En la tabla 10, se hace un resumen de los valores obtenidos a través del monitoreo constante de las variables edafoclimáticas, dentro del invernadero automatizado, de igual manera se representa los valores optimo requeridos para cada uno de los dos cultivos evaluados, estos valores son sacados de investigaciones y artículos en donde la evaluación de estos cultivos fue óptima.

Tabla 10 Comparación de los resultados finales promediados de las variables edafoclimáticas con los valores óptimos para cada cultivo.

REGISTRO UTILIZANDO HIGRÓMETRO Y TDR	VALOR MÁXIMO OBTENIDO	VALOR MÍNIMO OBTENIDO	CULTIVO DE TOMATE		CULTIVO DE PIMIENTO	
			VALOR MÁXIMO ÓPTIMO	VALOR MÍNIMO ÓPTIMO	VALOR MÁXIMO ÓPTIMO	VALOR MÍNIMO ÓPTIMO
TEMPERATURA	38.0 C°	35.6 C°	28 C°	23 C°	27 C°	20 C°
HUMEDAD RELATIVA	79.40%	44.90%	60%	40%	70%	50%
HUMEDAD DEL SUELO	64%	56.40%	75%	50%	75%	50%

Fuente: Elaboración propia

8.1.4 Determinación de las propiedades físico-químicas

En la siguiente tabla se detallan los resultados de las propiedades físico-químicas del suelo.

➤ Resultados de Suelo

Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos

Parámetros Hidrofísicos	
PH	6.73
Dr	2.15 gr/cm ³
Da	0.85 gr/cm ³
Porosidad %	60.47%
CC	41.32%
PMP	22.34%
TEXTURA	
Arcilla	19%
Arena	18%
Limo	63%
FRANCO LIMOSO	

Fuente: Elaboración propia.

La interpretación de los resultados fueron los siguientes:

a) PH

En la Tabla anterior se destaca que el pH del suelo en el área de estudio se registra en 6.73, considerado neutral según los estándares. Esta condición es propicia para el establecimiento de las dos especies de hortalizas (tomate y pimiento), ya que indica una adecuada disponibilidad de nutrientes en el suelo, esencial para el crecimiento óptimo de la planta.

Un pH adecuado para el cultivo de tomate y pimiento generalmente se encuentra en el rango ligeramente ácido a ligeramente alcalino, específicamente entre 6.0 y 7.0. Este rango es óptimo para la disponibilidad de nutrientes y la salud de las plantas. Sin embargo, cada especie puede tener preferencias ligeramente diferentes dentro de este rango.

Un pH neutro favorece la absorción eficiente de nutrientes por parte de las raíces del cultivo de tomate y pimiento, lo que contribuye a su desarrollo saludable y a la obtención de rendimientos satisfactorios.

b) Densidad aparente del suelo

Para determinar el valor de densidad aparente, es necesario conocer el volumen de la muestra en base a los datos de laboratorio.

$$Vm = \pi R^2 \times H = \pi (3.7 \text{ cm})^2 \times 7.5 = 322.56 \text{ cm}^3$$

$$Da = \frac{PSS \text{ (gr)}}{Vm \text{ (cm}^3\text{)}} = \frac{282.15 \text{ gr}}{322.56 \text{ cm}^3} = \mathbf{0.85 \text{ gr/cm}^3}$$

El dato de densidad aparente de 0.85 gr/cm³ indica la cantidad de masa de suelo por unidad de volumen aparente. Esto representa la compacidad del suelo, es decir, cuánta materia sólida hay en una determinada cantidad de espacios de la muestra. Este valor indica que se está trabajando con un suelo más suelto y poroso, lo que puede facilitar la penetración de raíces, el flujo de agua y la aireación del suelo.

c) Densidad Real

Se utilizó la siguiente fórmula para encontrar su valor.

$$Dr = \frac{P_{ss}}{P_s - (P_2 - P_1)}$$

Donde:

P_{ss}: Peso del suelo seco

P₁: Peso del recipiente con agua

P₂: Peso del recipiente con agua más suelo

$$Dr = \frac{21.3 \text{ gr}}{21.3 \text{ gr} - (376.75 \text{ cm}^3 - 365.35 \text{ cm}^3)} = 2.15 \text{ gr/cm}^3$$

La densidad real de los suelos minerales comunes puede variar entre aproximadamente 2.0 y 2.7 gramos por centímetro cúbico (g/cm³), al tener valores bajos de densidad real, implican suelos porosos, con buen drenaje y bien aireados. (Guayaquil, 2019).

d) Porosidad

Se utilizó la ecuación que se indica a continuación.

$$\eta(\%) = \left[1 - \frac{Da}{Dr} \right] \times 100$$

Donde:

Da: Densidad Aparente

Dr: Densidad Real

N%: Porosidad en porcentaje

$$\eta(\%) = \left[1 - \frac{0.85 \text{ gr/cm}^3}{2.15 \text{ gr/cm}^3} \right] \times 100 = 60.47\%$$

Para garantizar una adecuada aireación del suelo y una retención óptima de agua, es importante que la porosidad del suelo se encuentre en un rango apropiado, (40 % y el 60 %) (Guayaquil, 2019).

Una porosidad del suelo en el rango del 50% al 60% es generalmente considerada ideal para el cultivo de tomate y pimiento. Este rango proporciona un equilibrio adecuado entre la capacidad de retención de agua y la capacidad de drenaje del suelo.

e) Capacidad de Campo

A continuación, se presenta el procedimiento que se usó para llegar al valor de capacidad de campo.

$$CC = \frac{PSH_{+T} - PSS_{+T}}{PSS_{+T} - P_T} * 100$$

Donde:

PSH_{+T} : Peso de suelo húmedo más tara

PSS_{+T} : Peso de suelo seco más tara

P_T : Peso de la tara

$$CC = \frac{44.1 \text{ gr} - 37.55 \text{ gr}}{37.55 \text{ gr} - 21.7 \text{ gr}} \times 100 = 41.32\%$$

Como resultado se obtuvo un valor de capacidad de campo del 41.33 %, esto indica que el suelo retiene aproximadamente el 41.32 % de su volumen en forma de agua después de un período de drenaje. Este valor está dentro de los rangos típicos de capacidad de campo para muchos tipos de suelo, que generalmente oscilan entre el 25% y el 50%. Un valor dentro de este rango es deseable para proporcionar suficiente agua para las plantas sin saturar el suelo.

f) Punto de marchitez permanente

Mediante la siguiente fórmula se obtiene el valor deseado:

$$PPM = \frac{CC}{1.85}$$

$$PPM = \frac{41.32\%}{1.85} = 22.34\%$$

Los rangos permisibles pueden variar según el tipo de planta y las condiciones específicas del suelo, pero generalmente para los cultivos de hortalizas se considera que valores de punto de marchitez permanente entre 10% y 30% (Guayaquil, 2019). El valor obtenido es 22.34%, lo que indican un suelo adecuadamente drenado y con suficiente capacidad para retener agua para el crecimiento de las plantas.

g) Textura (Franco Limoso):

La textura del suelo se refiere a la proporción de partículas de arcilla, arena y limo. Un franco limoso es una textura ideal para el cultivo de tomate y pimiento, ya que proporciona un buen equilibrio de retención de agua y drenaje.

8.2 Resultados de las variables de respuesta (Desarrollo y Cosecha)

En el contexto de la agricultura moderna, la evaluación del rendimiento productivo de cultivos bajo condiciones controladas, como en invernaderos automatizados, resulta fundamental para optimizar la producción y garantizar la calidad de las cosechas.

En el presente estudio, enfocado en la evaluación del rendimiento productivo de tomate y pimiento en un invernadero automatizado, las variables de desarrollo juegan un papel crucial para determinar la adaptabilidad de estas especies a las condiciones agroclimáticas controladas.

El análisis de estas variables permitirá comprender el comportamiento de los cultivos en respuesta al sistema de fertirriego FAE-UNI 2023, proporcionando información valiosa para optimizar su manejo y maximizar su producción.

Se analizaron múltiples parámetros de crecimiento en ambos cultivos dentro del invernadero automatizado. Los indicadores evaluados incluyeron altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas por planta, así como el ancho y largo de las hojas.

En la figura 44. Se hace una representación visual de lo que fue el establecimiento de las dos especies de hortalizas que se evaluaron, en el invernadero automatizado de la FAE-UNI.

Figura 44. Cultivo de hortalizas (tomate y pimiento), bajo condiciones controladas



Fuente: Elaboración propia.

8.2.1 Análisis de las variables de desarrollo del cultivo de tomate a los 25 DDS y a los 50 DDS.

En la figura 45. Se hace una representación visual del cultivo de tomate Pachuca F1, que se estableció en el invernadero FAE-UNI.

Figura 45. Plantación de tomate Pachuca F1.



Fuente: Elaboración propia.

➤ Variable de desarrollo altura de la planta

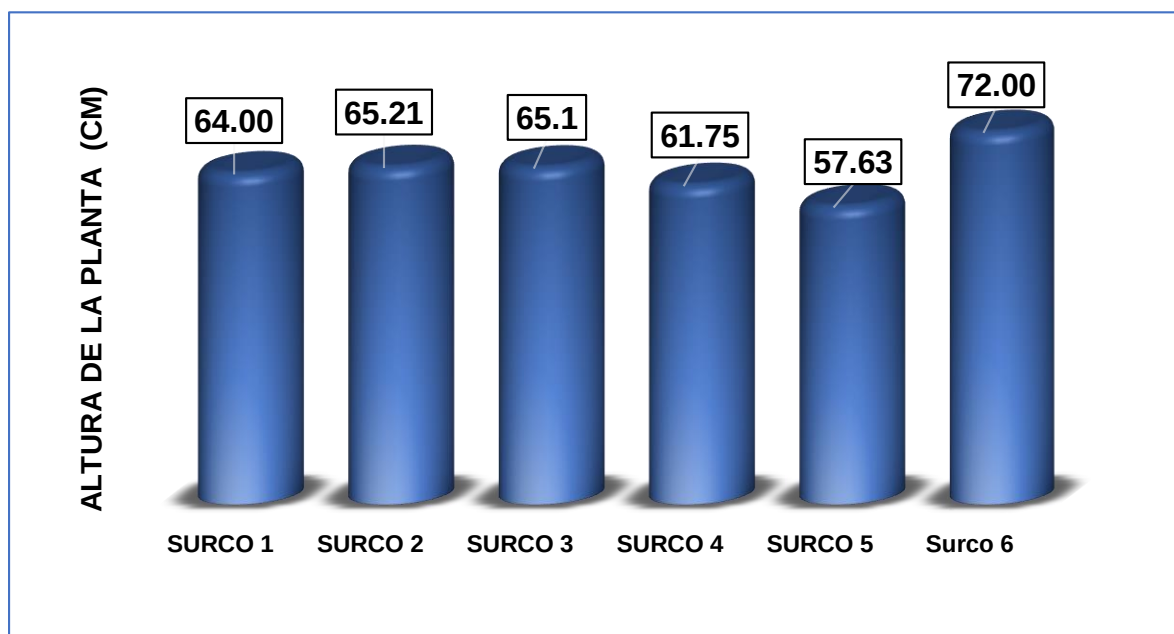
La altura de las plantas en un invernadero es un indicador fundamental del crecimiento y desarrollo vegetativo. Este parámetro refleja la eficacia de la

fotosíntesis, el equilibrio entre la captación de nutrientes y la disponibilidad de agua, así como la respuesta de la planta a las condiciones ambientales controladas, como la luz, la temperatura y la humedad.

En un entorno de invernadero, la altura puede ser influenciada significativamente por el manejo del fertirriego y la densidad de siembra, así como por la manipulación de factores ambientales. Investigaciones como las de Vega et al. (2019) han demostrado que la regulación precisa del riego y la nutrición puede optimizar la altura de cultivos como el tomate y el pimiento, mejorando su desarrollo estructural y su potencial de rendimiento dentro de un invernadero automatizado (Vega, 2019).

- **Altura 25 DDS**

Figura 46. Variable de desarrollo altura de la planta, tomados a los 25 (DDS)



Fuente: (Elaboración propia).

La figura 46, se muestra que la altura promedio de las plantas de tomate varía considerablemente entre los surcos. Los valores más altos se observan en los surcos 1, 2, 3 y 6, con alturas promedio de 72.0 cm, 65.2 cm, 65.1 cm y 64.0 cm, respectivamente. Los valores más bajos se observan en los surcos 4 y 5, con alturas

promedio de 57.6 cm y 61.8 cm, respectivamente, en general, la altura promedio de las plantas de tomate en los 12 surcos es de 63.8 cm.

En la figura 47. Se hace una representación visual de una planta de tomate Pachuca a los 25 días después de la siembra (DDS), establecida en el invernadero de la FAE-UNI, con una altura promedio de 63.8 cm.

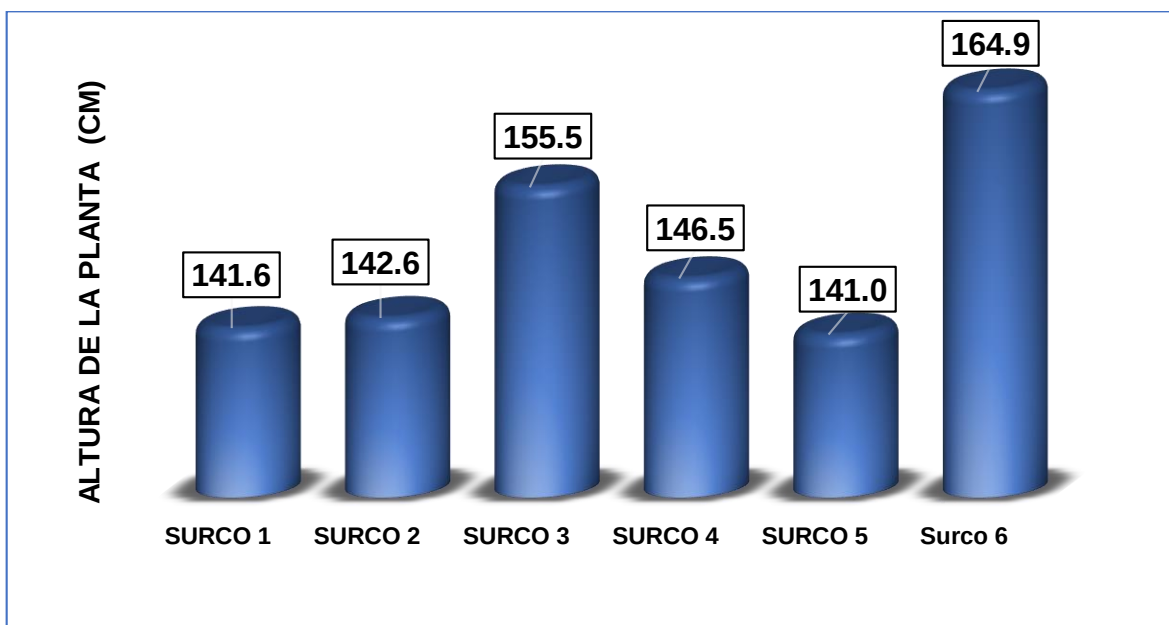
Figura 47. planta de tomate Pachuca F1, a los 25 días después de la siembra



Fuente: Elaboración propia.

- **Altura 50 DDS**

Figura 48. Variable de desarrollo altura de la planta 50 (DDS)



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 57, se muestra una variabilidad notable en la altura promedio de las plantas de tomate a lo largo de los diferentes surcos. Las mayores alturas promedio se observan en los surcos 3, 4 y 6, con valores de 155.5 cm, 146.5 cm y 164.9 cm, respectivamente. Por otro lado, los surcos 1, 2 y 5 registran las alturas promedio más bajas, con 141.6 cm, 142.5 cm y 141.0 cm respectivamente.

En términos generales, la altura promedio de las plantas de tomate en los 12 surcos evaluados es de 148.7 cm.

En la figura 49, se hace una representación visual de una planta de tomate Pachuca a los 50 días después de la siembra (DDS), establecida en el invernadero de la FAE-UNI, con una altura promedio de 148.7 cm.

Figura 49. planta de tomate Pachuca F1, a los 50 días después de la siembra



Fuente: Elaboración propia.

➤ **Variable de desarrollo diámetro del tallo de la planta**

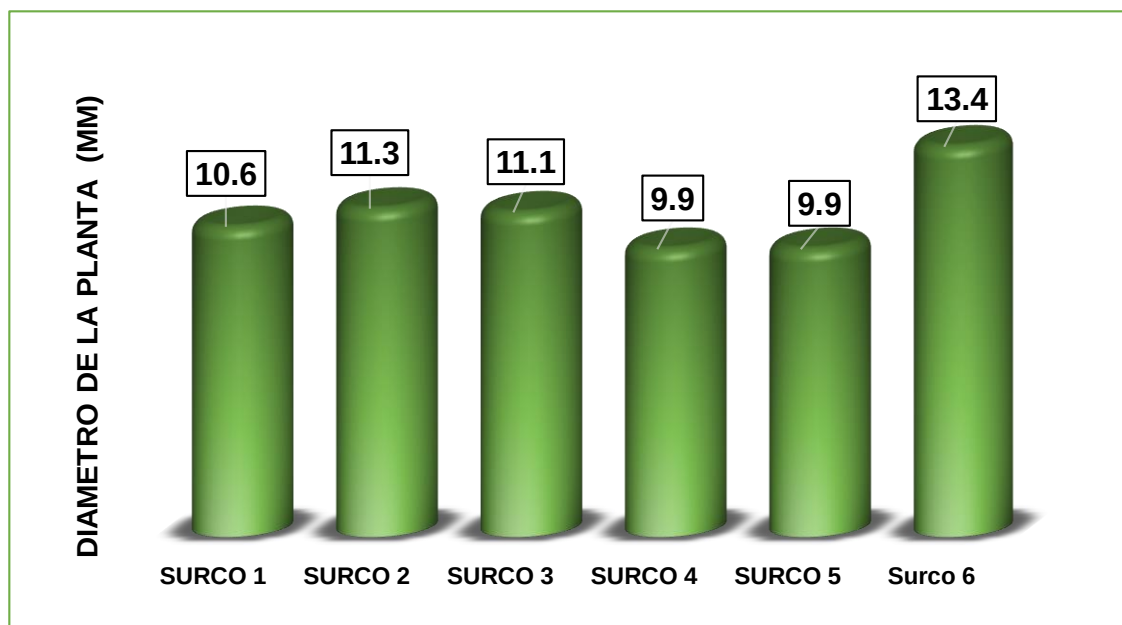
Dentro de las variables de desarrollo evaluadas, el diámetro del tallo de la planta de tomate se destaca como un indicador crucial del vigor y la salud general de la planta. El diámetro del tallo no solo refleja el crecimiento vegetativo, sino que también influye en la capacidad de la planta para soportar cargas de fruto, resistir enfermedades y maximizar el rendimiento.

Este parámetro, por lo tanto, se convierte en un punto focal en la evaluación del rendimiento productivo del tomate bajo el sistema de fertirriego en el invernadero FAE-UNI 2023. A través de un análisis detallado de esta variable, se busca comprender cómo el entorno controlado y la aplicación precisa de nutrientes afectan el crecimiento y la productividad del cultivo de tomate, proporcionando resultados valiosos para la optimización de prácticas agrícolas en entornos automatizados.

Un estudio, realizado en Nicaragua, por la Universidad Nacional Agraria encontró que el diámetro del tallo es una variable importante para evaluar el crecimiento y rendimiento del tomate en invernaderos de casa malla (Jarquin., 2015).

- **Diámetro del tallo a los 25 DDS**

Figura 50. Variable de desarrollo diámetro de la planta



Fuente: (Elaboración propia)

La figura 50, se muestra una variabilidad considerable en el diámetro del tallo de las plantas de tomate entre los surcos. Los valores más altos se observan en los surcos 2, 3 y 6, con diámetros promedio de 11.3 mm, 11.1 mm y 13.4 mm, respectivamente. Los valores más bajos se observan en los surcos 1, 4 y 5 con diámetros promedio de 10.6 mm, 9.9 mm y 9.9 mm respectivamente.

En general, el diámetro promedio del tallo de las plantas de tomate muestreadas en los 12 surcos es de 11.03 mm.

En la figura 51, se hace una representación visual de la toma del diámetro a los 25 días después de la siembra (DDS), establecida en el invernadero de la FAE-UNI, con un diámetro promedio de 11.03 mm.

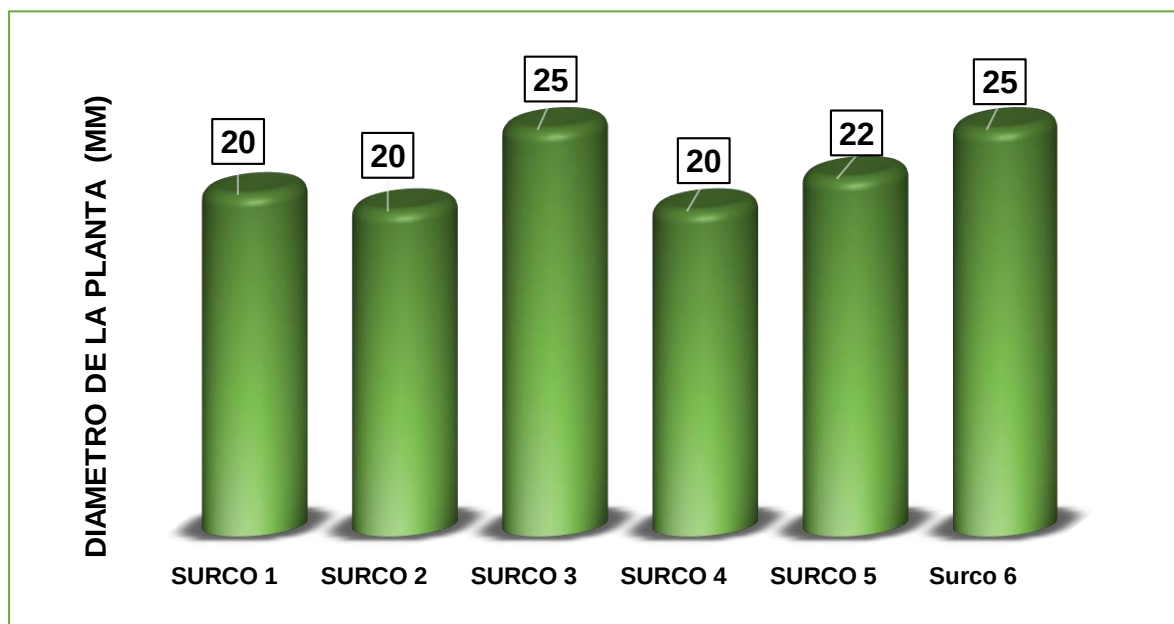
Figura 51. Medición del diámetro de la planta a los 25 días después de la siembra



Fuente: Elaboración propia.

- **Diámetro del tallo a los 50 DDS**

Figura 52. Variable de desarrollo diámetro del tallo a los 50 DDS



Fuente: Elaboración propia.

La figura 52, muestra una variabilidad considerable en el diámetro del tallo de las plantas de tomate entre los surcos. Los valores se observan de forma que varían, es decir todas las plantas muestreadas presentaron variabilidad en su diámetro respectivamente.

Los surcos que obtuvieron el diámetro mayor a como se puede observar son los surcos 3, 5 y 6 con medidas de 25 mm, 22 mm y 25 mm, y los diámetros menores corresponden a los surcos 1, 2 y 4 con medidas de 21 mm, 20 mm y 20 mm respectivamente, para un diámetro general de 22 mm en promedio.

En la figura 53. Se hace una representación visual de la toma del diámetro a los 50 días después de la siembra (DDS), establecida en el invernadero de la FAE-UNI, con un diámetro promedio de 22 mm.

Figura 53.Medición del diámetro de la planta a los 50 días después de la siembra



Fuente: (propia)

➤ **Variable de desarrollo número de hojas de la planta**

A través del análisis del número de hojas, se busca comprender cómo esta variable influye en el desarrollo de la planta bajo un sistema de fertirriego, un método que combina la fertilización con el riego para mejorar la eficiencia en la utilización de recursos.

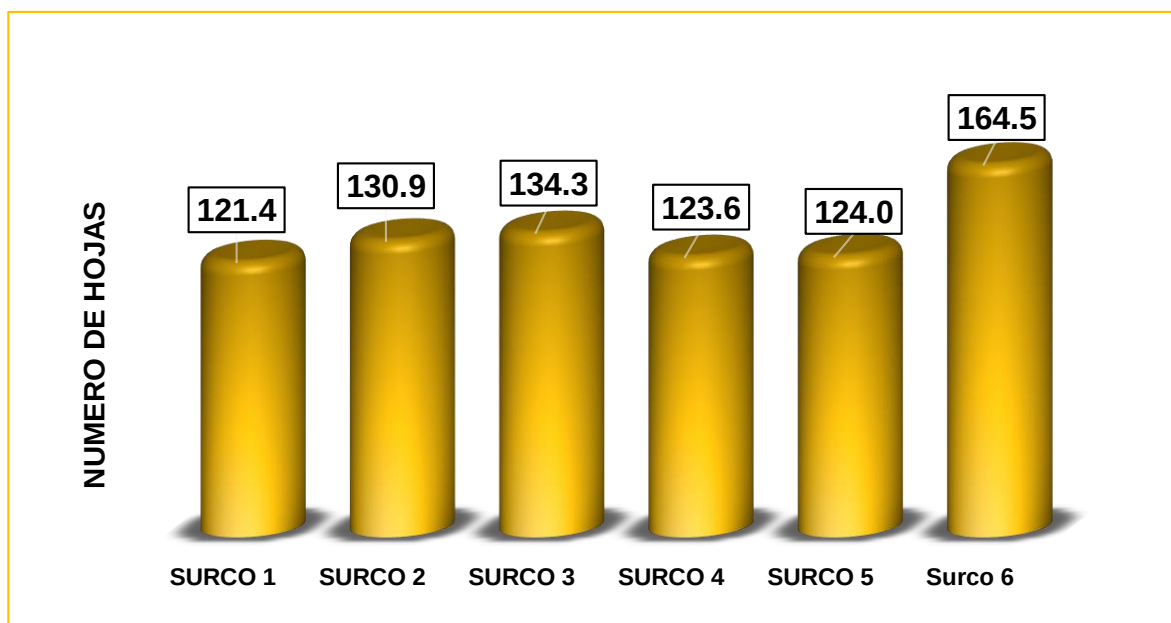
El número de hojas en las plantas de tomate no solo refleja el vigor y la salud de la planta, sino que también puede ser un indicador temprano de su capacidad productiva. Este parámetro será evaluado en diferentes etapas de crecimiento, proporcionando información valiosa sobre cómo el entorno automatizado del invernadero afecta la fisiología del tomate. La comprensión de estas interacciones es fundamental para mejorar las prácticas agrícolas y maximizar el rendimiento productivo de este cultivo en sistemas de producción avanzada.

En el estudio de Machado et al. (2007), se evaluó el efecto de diferentes números de racimos por planta sobre el desarrollo de dos híbridos comerciales de tomate. Se encontró que, a mayor número de racimos, las plantas de tomate presentaban un mayor número de hojas (Machado, 2007).

Este resultado sugiere que el número de racimos puede ser un factor importante que influye en el desarrollo vegetativo del tomate, incluyendo el número de hojas.

- **Numero de hojas a los 25 DDS**

Figura 54. Variable de desarrollo número de hojas



Fuente: Elaboración propia.

El gráfico muestra que el número promedio de hojas por planta de tomate varía entre 121.4 hojas y 164.5 hojas en los diferentes surcos. Sin embargo, en general, el número de hojas por planta se encuentra cercano al promedio general de 134.12 hojas.

En la figura 55, se hace una representación visual de la contabilización de hojas de forma manual en cada planta de tomate Pachuca, a los 25 días después de la siembra, con un numero de hojas promedio de 134.12 hojas.

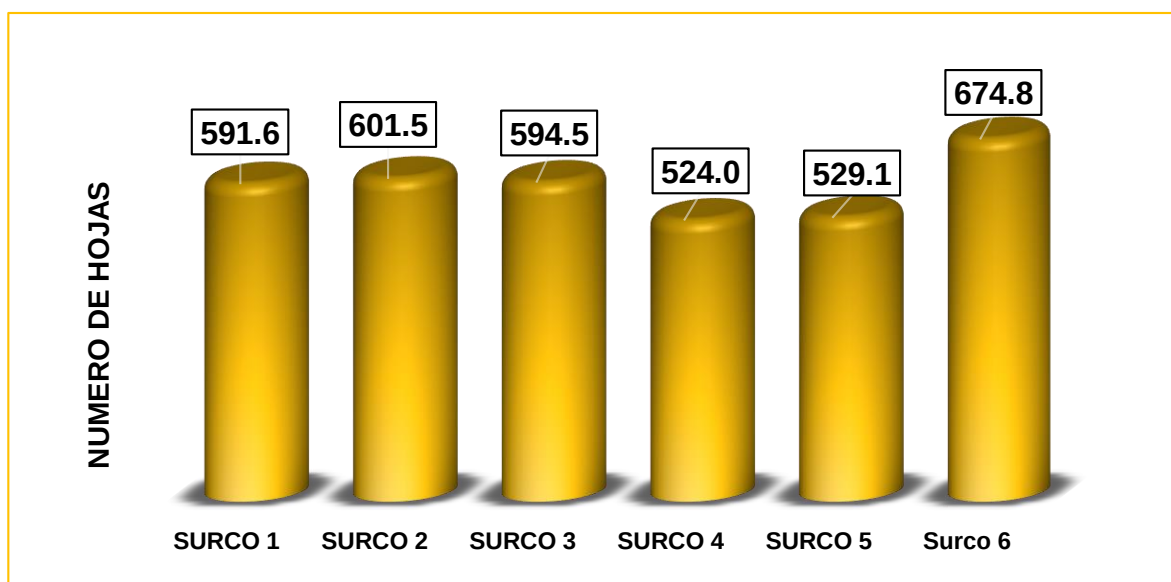
Figura 55. Contabilización del número de hojas por planta a los 25 días después de la siembra



Fuente: Elaboración propia.

- **Numero de hojas a los 50 DDS**

Figura 56. Variable de desarrollo número de hojas



Fuente: Elaboración propia.

En figura 56, se muestra una variabilidad considerable en el número de hojas por surco. Los surcos 2, 3 y 6 presentan un número de hojas superiores entre los surcos, mientras que los surcos 1, 4 y 5 presentan un número de hojas inferior al promedio. Esta variabilidad podría deberse a diferentes factores, como la exposición a la luz solar, la disponibilidad de agua y nutrientes, o la presencia de plagas o enfermedades, en general, el número de hojas por planta en promedio es de 585.91 hojas.

En la figura 57, se hace una representación visual del follaje de las plantas de tomate Pachuca, con un numero de hojas promedio de 585.91 hojas.

Figura 57. Numero de hojas de una planta de tomate



Fuente: Elaboración propia.

➤ **Variable de desarrollo ancho de las hojas de la planta**

El ancho de las hojas del tomate es un indicador vital del desarrollo vegetativo de la planta. Este parámetro no solo refleja la capacidad de la planta para captar luz solar, esencial para la fotosíntesis, sino que también puede influir en la eficiencia del uso de nutrientes y agua. En un sistema de invernadero automatizado, donde las condiciones agroclimáticas y de fertirriego están estrictamente controladas, el

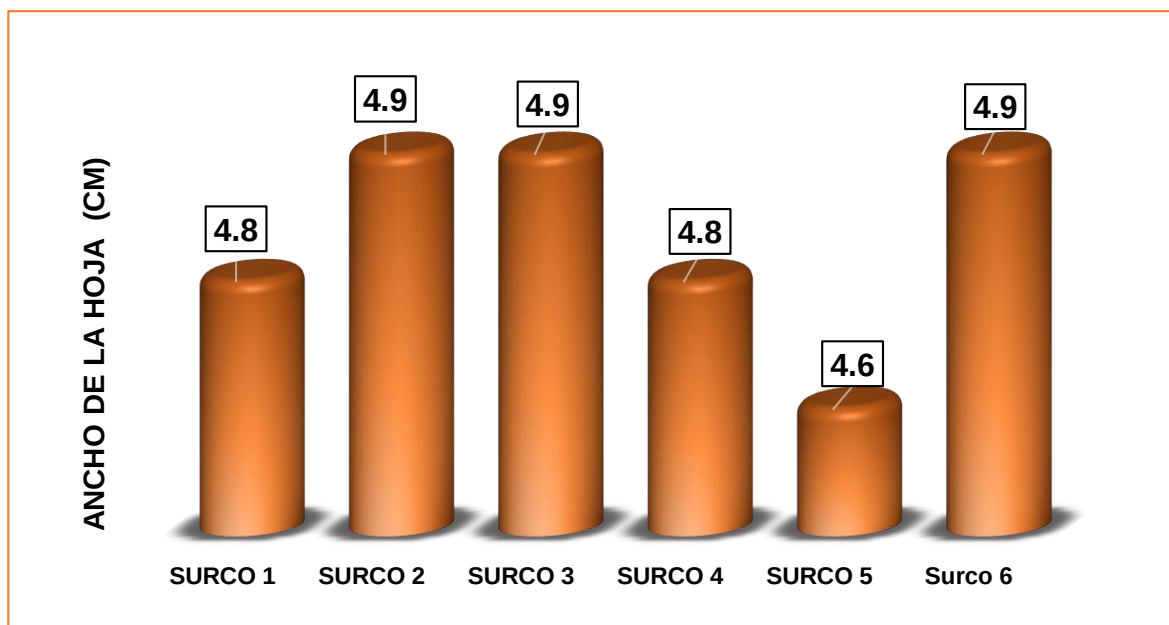
estudio del ancho de las hojas permite evaluar cómo estos factores afectan el crecimiento y la productividad del tomate.

Entender cómo varía el ancho de las hojas bajo diferentes condiciones de fertirriego y control ambiental puede proporcionar información valiosa sobre la adaptabilidad del tomate a las condiciones específicas del invernadero. Además, puede ayudar a optimizar las prácticas de cultivo, maximizando el rendimiento y la calidad del producto final. Este análisis es, por lo tanto, crucial para cumplir con el objetivo de determinar la adaptabilidad del tomate a las condiciones del invernadero automatizado, contribuyendo así a una producción hortícola más eficiente y sostenible.

Los autores García et al. (2014), demostraron que las plantas de tomate cultivadas en invernadero presentan un mayor ancho de hoja en comparación con las cultivadas en campo abierto. Este mayor ancho de hoja se relaciona con una mayor fotosíntesis y un mayor rendimiento del cultivo (García, 2014).

- **Ancho de la hoja a los 25 DDS**

Figura 58. Ancho de la hoja promediado por surco a los 25 DDS

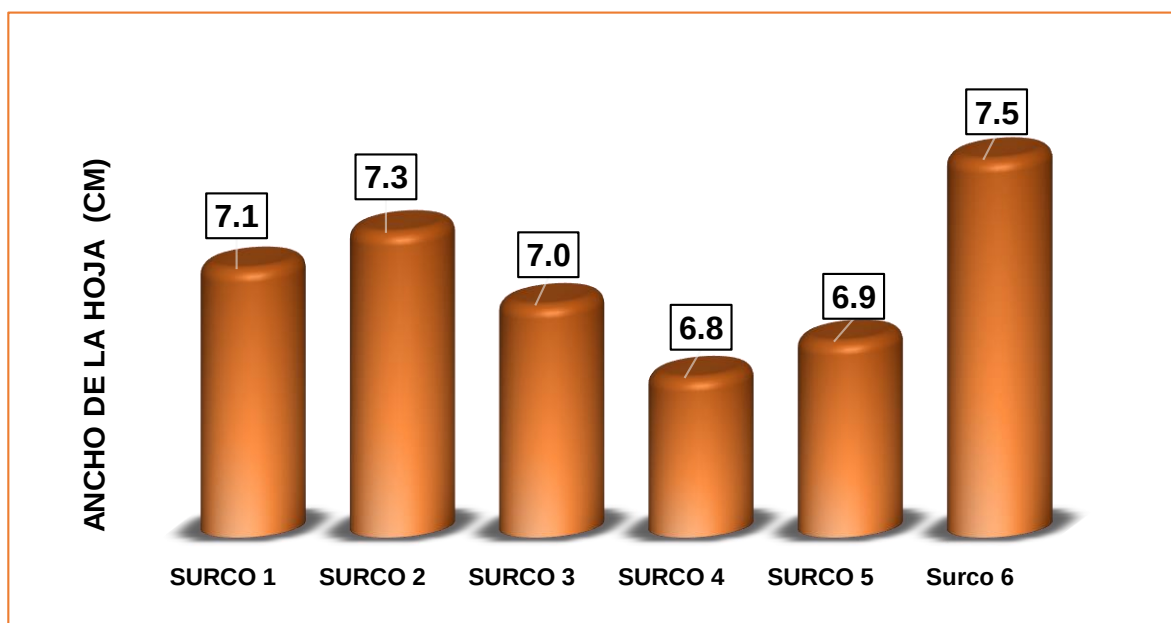


Fuente: Elaboración propia.

La figura 58, muestra una variabilidad considerable en el ancho de la hoja entre surcos a los 25 días después de la siembra (DDS), el surco 2, 3 y 6 tiene el ancho de hoja promedio más alto con 4.9 cm, mientras que en los surcos 1, 4 y 5 tiene el ancho de hoja promedio más bajo, con 4.8 cm, 4.8 cm y 4.6 cm. Esta variabilidad puede deberse a varios factores, como las condiciones ambientales, la genética de las plantas o las prácticas de cultivo, en general el ancho promedio de todos los surcos fue de 4.82 cm.

- **Ancho de la hoja a los 50 DDS**

Figura 59. Variable ancha de la hoja por planta promediada por surco



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 59, se refleja una notable variabilidad en el ancho de las hojas entre los surcos a los 50 días después de la siembra (DDS). Los surcos 1, 2 y 6 presentan los mayores anchos promedio de hojas, con 7.1 cm, 7.3 cm y 7.5 cm, respectivamente. Por otro lado, los surcos 3, 4 y 5 muestran los anchos promedio más bajos, con 7.0 cm, 6.8 cm y 6.9 cm. Esta variabilidad puede estar influenciada por diversos factores, como las condiciones ambientales, la genética de las plantas o las prácticas de cultivo. En general, el ancho promedio de las hojas para todos los surcos fue de 7.1 cm.

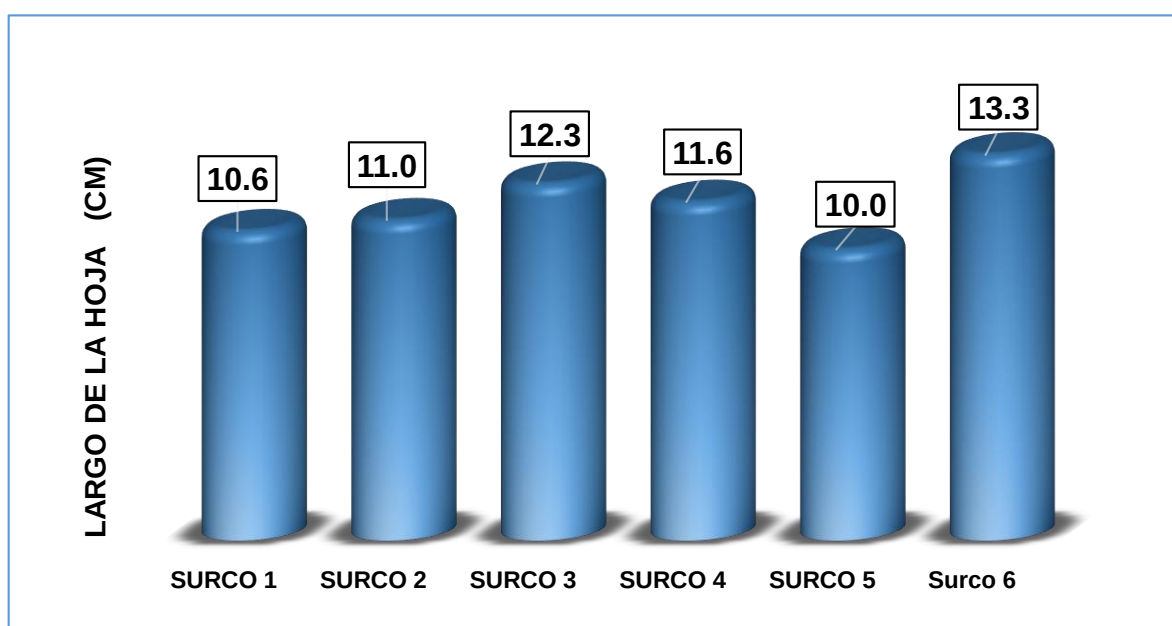
➤ Variable de desarrollo largo de la hoja de la planta

El análisis del largo de la hoja en el tomate permite obtener una visión detallada del estado vegetativo de las plantas bajo condiciones específicas de riego y nutrientes, proporcionando una base para la optimización del cultivo en ambientes controlados. La importancia de esta variable radica en su capacidad para reflejar la eficiencia de la planta en la captación de luz y el intercambio gaseoso, factores esenciales para el crecimiento y la producción de frutos. Además, el estudio de cómo el largo de la hoja varía bajo diferentes condiciones de fertirriego y control climático puede ofrecer datos valiosos sobre la capacidad de las plantas de tomate para adaptarse y prosperar en sistemas de cultivo automatizados.

Un estudio realizado en Argentina que se titula "Efecto del largo de la hoja y el área foliar en la fotosíntesis y el crecimiento vegetativo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)", analiza específicamente la relación entre el largo de la hoja y el área foliar con la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas de tomate en un ambiente controlado como el invernadero. Los resultados del estudio demuestran que el largo de la hoja es un indicador importante del estado vegetativo de la planta y su capacidad para captar luz y realizar fotosíntesis, lo cual es esencial para un crecimiento óptimo en un entorno de invernadero (H. A. Ruiz, 2022).

- **Largo de la hoja a los 25 DDS**

Figura 60. Variable de desarrollo largo de la hoja

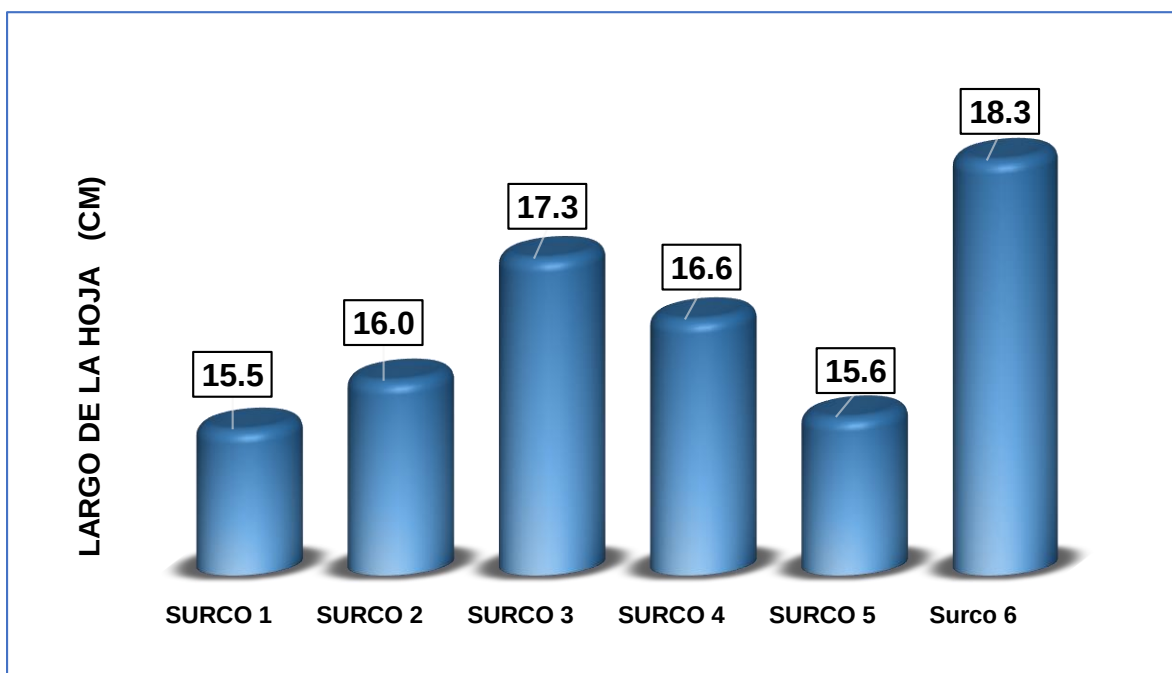


Fuente: Elaboración propia.

La longitud de las hojas varía de manera notable a los 25 días después de la siembra (DDS), entre los surcos. El surco 6 tiene el promedio de longitud de hoja más alto (13.3 cm), mientras que el surco 5 tiene el promedio más bajo (10.0 cm), los surcos 1, 2, 3 y 4 tienen valores dentro de ese rango, la longitud general de todos los surcos es de 11.5 cm.

- **Largo de la hoja a los 50 DDS**

Figura 61. Variable de desarrollo largo de la hoja



Fuente: Elaboración propia.

La gráfica revela una variabilidad considerable en el largo de las hojas entre los surcos a los 50 días después de la siembra (DDS). Los surcos 3, 4 y 6 tienen los largos promedio de hojas más altos, con 17.3 cm, 16.6 cm y 18.3 cm, respectivamente. En contraste, los surcos 1, 2 y 5 tienen los largos promedio más bajos, con 15.5 cm, 16.0 cm y 15.6 cm. Esta variabilidad puede deberse a varios factores, como las condiciones ambientales, la genética de las plantas o las prácticas de cultivo. En general, el largo promedio de las hojas para todos los surcos fue de 16.55 cm.

Tabla 12. Resultados finales promedio de las variables de desarrollo a los 25 (DDS) Y 50(DDS)

TOTAL, DE PLANTAS MUESTREADAS	25 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA	50 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA
	48 PLANTAS MUESTREADAS	48 PLANTAS MUESTREADAS
ALTURA PROMEDIO (cm)	64.4	148.7
DIAMETRO DEL TALLO PROMEDIO (mm)	11	22
NUMERO DE HOJAS PROMEDIO	133.1	585.9
ANCHO DE LA HOJA PROMEDIO(CM)	4.8	7.1
LARGO DE LA HOJA PROMEDIO (CM)	11.4	16.5

Fuente: Elaboración propia.

8.2.2 Análisis de las variables de cosecha del cultivo de tomate

Factores que influyeron en la producción del tomate

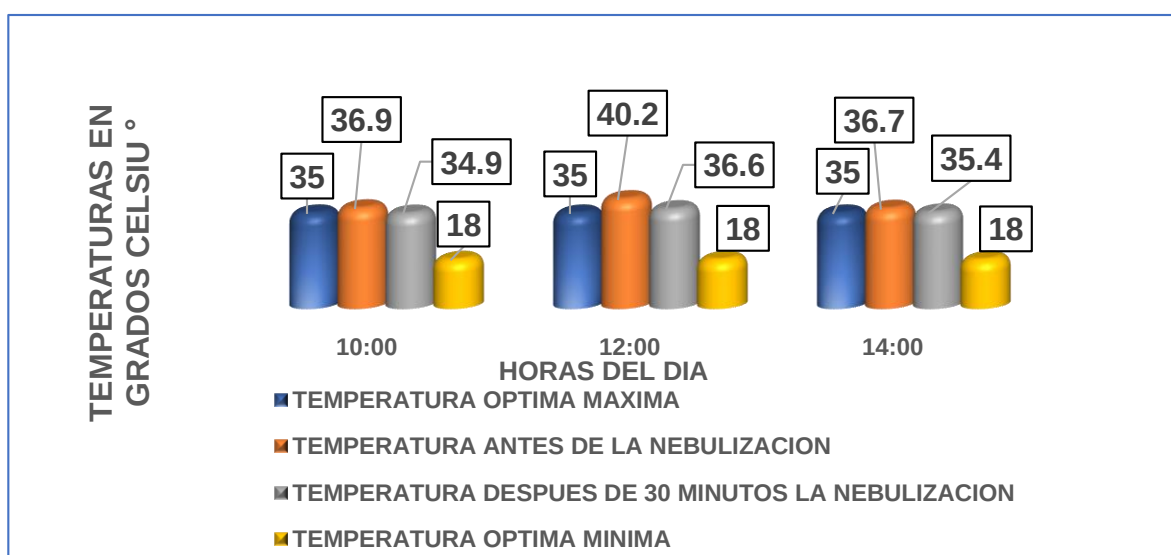
Tanto en el cultivo como en la naturaleza, las plantas están expuestas constantemente a estreses ambientales. Algunos factores ambientales, tales como la temperatura del aire, pueden ser estresante en unos pocos minutos; otros como el contenido de agua del suelo, tarda días e incluso semanas; y algunos factores como la diferencia de minerales en el suelo pueden tardar meses en ser estresantes (Taiz, L., & Zeiger, E., 2006).

“Además, el estrés tiene un papel importante, en la determinación del modo en que el suelo y el clima limitan la distribución de las especies vegetales, por ello, la comprensión de los procesos fisiológicos que subyacen en el estrés, por heridas, así como los mecanismos de adaptación y aclimatación de las plantas al estrés

ambiental es de gran importancia tanto para la agricultura como para el medio ambiente (Taiz, L., & Zeiger, E., 2006)."

Hay varios factores edafoclimáticos que pudieron haber incidido de manera negativa, en el proceso de polinización, lo que pudo haber provocado que hubiera fecundación de los óvulos, sin embargo el crecimiento, color de la hoja y número de flores fueron excelentes, entre los factores que podemos mencionar se encuentran la temperatura, la humedad relativa y la temperatura del suelo, estos factores pudieron haber influido en la limitación de los procesos de fecundación de la flores (polinización).

Figura 62. Comparación de las temperatura mínima y máxima con los rangos óptimos para el desarrollo y fructificación de la planta de tomate



Fuente: (Elaboración propia)

Analizando la figura 62, se puede observar que la temperatura dentro del invernadero sobre paso de manera significativa el rango optimo diurno (23°- 28°) en varias de las horas analizadas, se pudo observar que la temperatura se mantuvo fuera de los valores óptimos, se procedió a nebulizar, sin embargo después de la nebulización la temperaturas bajaron entre 2° y 4° grados en promedio, pero posteriormente incremento, esto pudo haber generado estrés térmico lo que influyo de manera negativa en las plantas.

Según el libro de fisiología vegetal tomo 2, realizado por Taiz, L., & Zeiger, E. (2006) habla sobre como las fluctuaciones de temperaturas en las plantas, provocan que se produzcan proteínas de choques térmicos, en variaciones de 5° a 10°, las mayorías de las HSP ayudan a que las células de las plantas resistan al estrés por calor, siendo chaperonas moleculares (Taiz, L., & Zeiger, E., 2006).

Las temperaturas dentro del invernadero experimentaron fluctuaciones entre 2° y 4°, estas se experimentaron durante el proceso de nebulización, si bien los valores de fluctuaciones obtenidos no son iguales a los valores de fluctuaciones indicados en el libro de fisiología vegetal tomo 2, realizado por Taiz, L., & Zeiger, E. (2006), podemos deducir que la planta no fue capaz de producir proteínas de choques térmico, lo que impactó de manera negativa en su rendimiento productivo, las altas temperaturas a las que estuvieron expuestas en el invernadero provocó estrés térmico.

En la figura 63. Se hace una Representación visual de un higrómetro a las 10:33 am, marcando una temperatura de 41.7 °C, lo que se considera una temperatura letal para el desarrollo de las plantas y una humedad relativa por debajo de los valores óptimos de desarrollo.

Figura 63. Factores edafoclimáticos dentro del invernadero



Fuente: Elaboración propia.

Las plantas sometidas a temperaturas elevadas tendieron a cerrar sus estomas para conservar agua, lo cual redujo la fotosíntesis y, por ende, su crecimiento. La nebulización, al bajar la temperatura, favoreció la apertura estomática y mejoró la eficiencia fotosintética. Un estudio de (Sato, 2002), indicó que el estrés térmico redujo la fertilidad y el desarrollo del fruto en tomates, destacando la importancia del manejo adecuado de la temperatura (Sato, 2002).

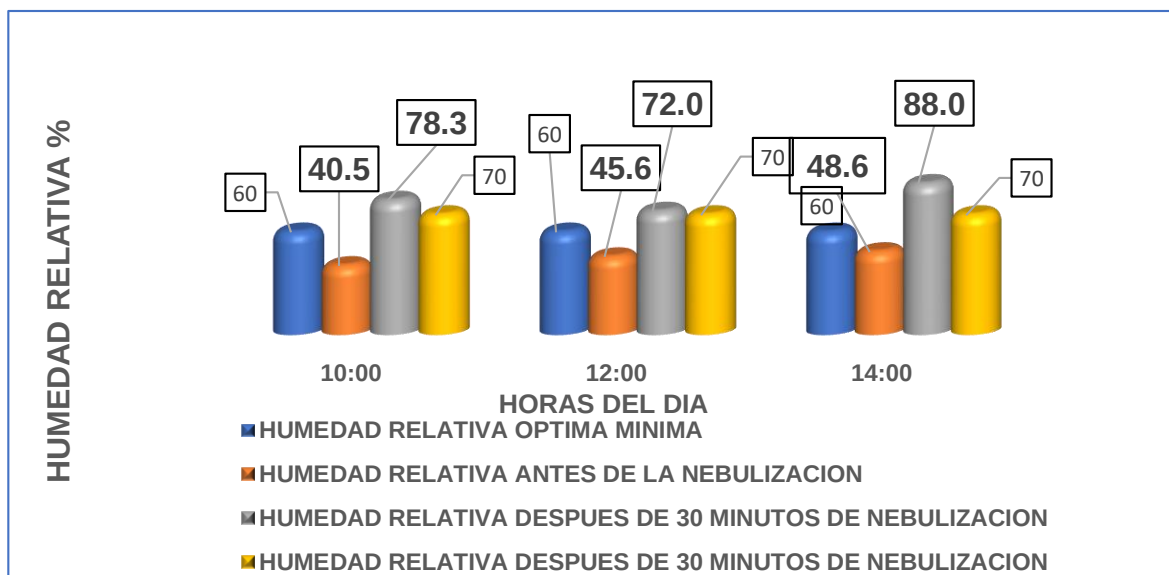
Figura 64. Plantas de tomate expuestas a altas temperaturas dentro del invernadero



Fuente: Elaboración propia.

Un estudio conducido por el Instituto de Desarrollo Agropecuario y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias en Santiago de Chile que se titula manual de cultivo de tomate bajo invernadero, encontró que el rango de humedad relativa óptima para una polinización efectiva está entre el 60% y el 70%. Niveles de humedad por encima de este rango pueden provocar la compactación del polen, lo que dificulta el proceso de polinización. Por otro lado, una humedad relativa por debajo del 60% puede reducir la adherencia del polen al estigma de la flor durante la polinización (Torres P., 2017).

Figura 65. Humedad relativa máxima y mínima obtenida en promedio comparada con los valores óptimos



Fuente: (Elaboración propia)

Cómo se puede observar en la figura 65, de la humedad relativa en el invernadero antes de la nebulización se encuentra por debajo del rango óptimo, que es del 60% y el 70% durante los tres tiempos antes de nebulizar oscilando entre 40.5% y el 50%, lo que provocó un ambiente seco, para el desarrollo de las plantas de tomate, ya que puede interferir con procesos críticos como la polinización y el crecimiento de las plantas.

La introducción de la nebulización aumento la humedad relativa en el invernadero. Después de 30 minutos de nebulización, los valores de humedad suben en todas las horas del día, sobre pasando el rango óptimo en la mayoría de las horas registradas. No obstante, en ciertas horas, como a las 10:00 y a las 14:00, la humedad relativa todavía no alcanza el nivel óptimo.

Cuando la humedad relativa es menor que el rango óptimo, el ambiente se vuelve seco. Esto pudo causar una serie de problemas en la producción de tomates (Jorge Jaramillo Noreña, 2006).

En la figura 66. Se hace una representación visual del desarrollo desfavorable de los frutos que se pudieron desarrollar, a pesar de las condiciones edafoclimáticas desfavorables para el cultivo de tomate dentro del invernadero.

Figura 66. Desarrollo que obtuvieron los frutos de tomate Pachuca f1



Fuente: Elaboración propia.

8.2.3 Análisis de las variables de desarrollo del cultivo de pimiento a los 25 DDS y a los 50 DDS.

En la figura 67, se hace una representación visual del cultivo de Pimiento F1, que se estableció en el invernadero FAE-UNI.

Figura 67. Plantación de Pimiento F1.



Fuente: Elaboración propia.

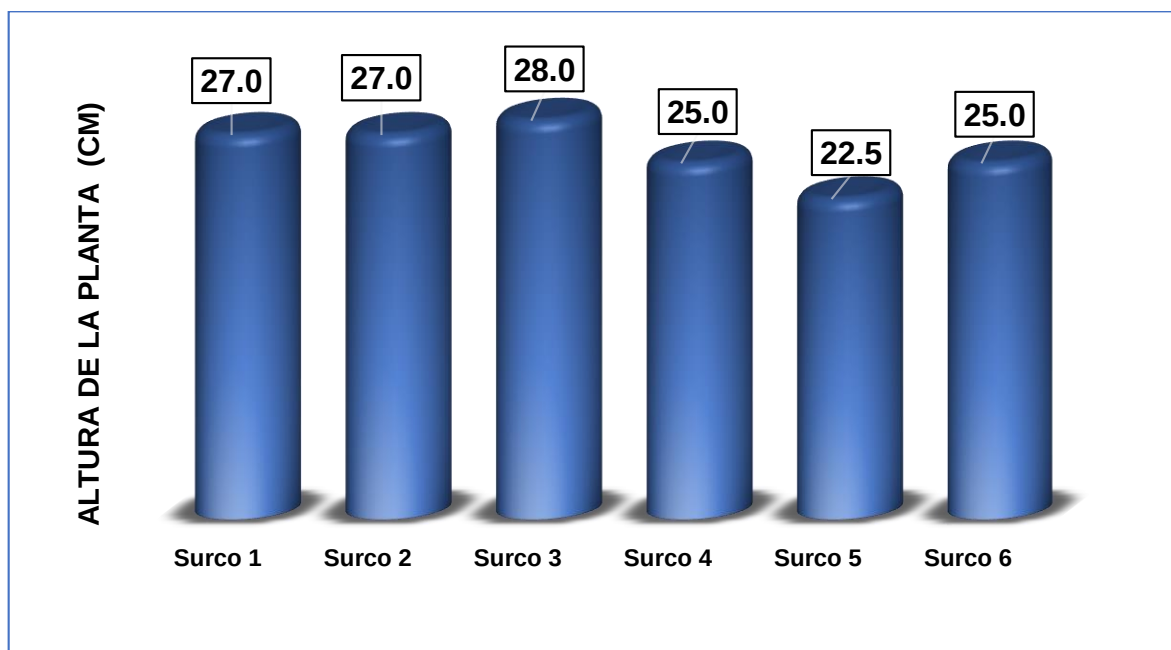
➤ **Variable de desarrollo altura de la planta**

La altura de la planta es un indicador esencial del crecimiento y desarrollo del pimiento F1. Esta característica refleja cómo la planta aprovecha los nutrientes y el agua, su capacidad para capturar la luz solar y su eficiencia en la producción de biomasa. Por lo general, las plantas más altas tienen una mayor superficie foliar, lo que facilita una fotosíntesis más eficiente y, por ende, un mayor potencial de rendimiento. Evaluar la altura de la planta, junto con otros factores de crecimiento y rendimiento, es fundamental para entender mejor el comportamiento del pimiento F1 en un invernadero automatizado. Esto permitirá establecer recomendaciones precisas para mejorar su producción en este entorno controlado.

En su investigación, Heuvelink y Marcelis exploran cómo la altura de la planta de pimiento se correlaciona con varios factores de crecimiento, incluyendo la fotosíntesis y el rendimiento. Encuentran que las plantas con mayor altura tienen una mayor área foliar, lo que facilita una mayor interceptación de la luz solar y una fotosíntesis más eficiente. Este aumento en la capacidad fotosintética se traduce en una mayor producción de biomasa y, por lo tanto, un mayor potencial de rendimiento. Además, el estudio aborda cómo estas plantas más altas pueden aprovechar de manera más eficiente los recursos disponibles, como nutrientes y agua, lo cual es crucial en ambientes controlados como los invernaderos automatizados (Heuvelink E. &, 1996).

- **Altura de la planta 25 después de la siembra**

Figura 68. Variable de desarrollo altura de la planta



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 68, se muestra que la altura promedio de las plantas de pimiento en general es de 25.75 cm. Sin embargo, hay una variabilidad considerable en la altura de las plantas entre los diferentes surcos. El surco 3 tiene la altura promedio más alta (28 cm), seguido del surco 1 y 2 (27 cm), el surco 4 y 6 (25 cm) y el surco 5 (22,5 cm), se obtuvo una altura promedio para todas las plantas de 25.75 cm.

La variabilidad en la altura de las plantas entre los diferentes surcos puede deberse a una serie de factores, como la exposición a la luz solar, la disponibilidad de agua, la nutrición del suelo y la presencia de plagas o enfermedades.

En la figura 69. Se hace una representación visual de una planta de Pimiento F1 25 días después de la siembra (DDS), con una altura promedio de 25.75 cm.

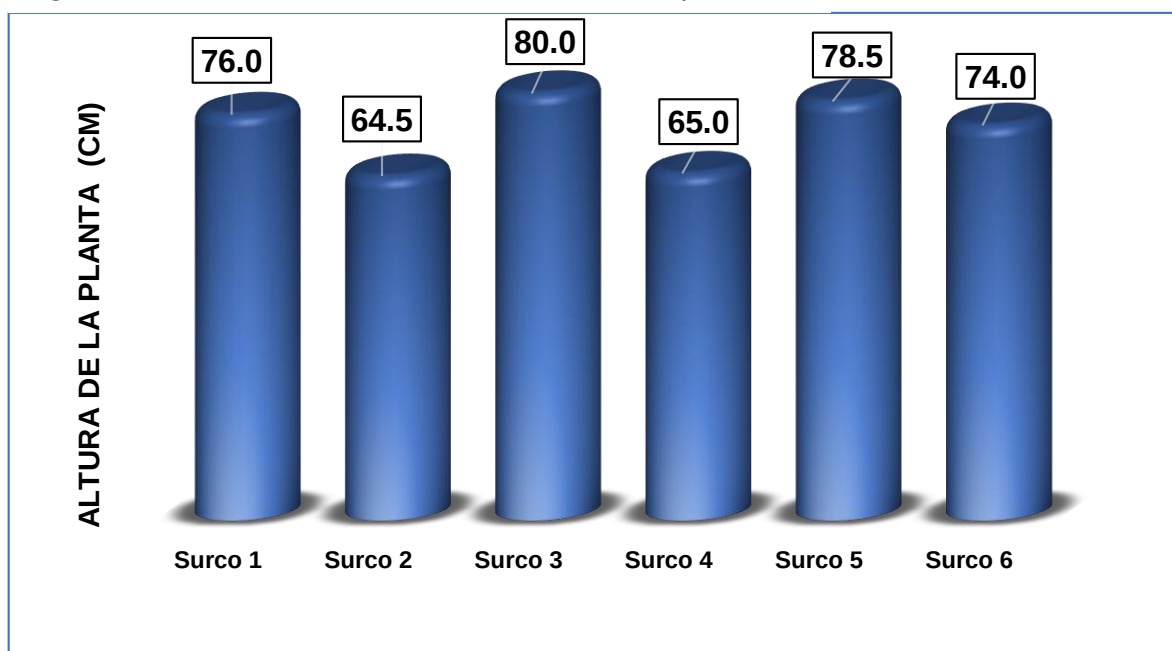
Figura 69. Planta de Pimiento F1 a los 25 DDS



Fuente: Elaboración propia.

- **Altura 50 DDS**

Figura 70. Variable de desarrollo altura de las plantas



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 70, se muestra que la altura promedio de las plantas de pimiento es de 73 cm. Sin embargo, hay una variabilidad considerable en la altura de las plantas entre los diferentes surcos. El surco 3 tiene la altura promedio más alta (80 cm), seguido del surco 5 (78.5 cm), el surco 1 (76 cm), el surco 6 (74 cm), el surco 4 (65 cm), y el surco 2 (64.5 cm).

En la figura 71, se hace una representación visual de una planta de Pimiento F1 a los 50 días después de la siembra(dds), con una altura promedio de 73 cm.

Figura 71. Planta de Pimiento F1



Fuente: Elaboración propia.

➤ **Variable de desarrollo diámetro del tallo**

El grosor del tallo es un indicador crucial de la salud y vitalidad de una planta. Un tallo fuerte y robusto sugiere un desarrollo vegetativo saludable, lo que implica una mayor capacidad para realizar la fotosíntesis y, en consecuencia, un mayor potencial de rendimiento. Por otro lado, un tallo delgado o debilitado puede señalar carencias nutricionales, estrés ambiental o la presencia de enfermedades, lo que impacta negativamente el crecimiento y la productividad de la planta.

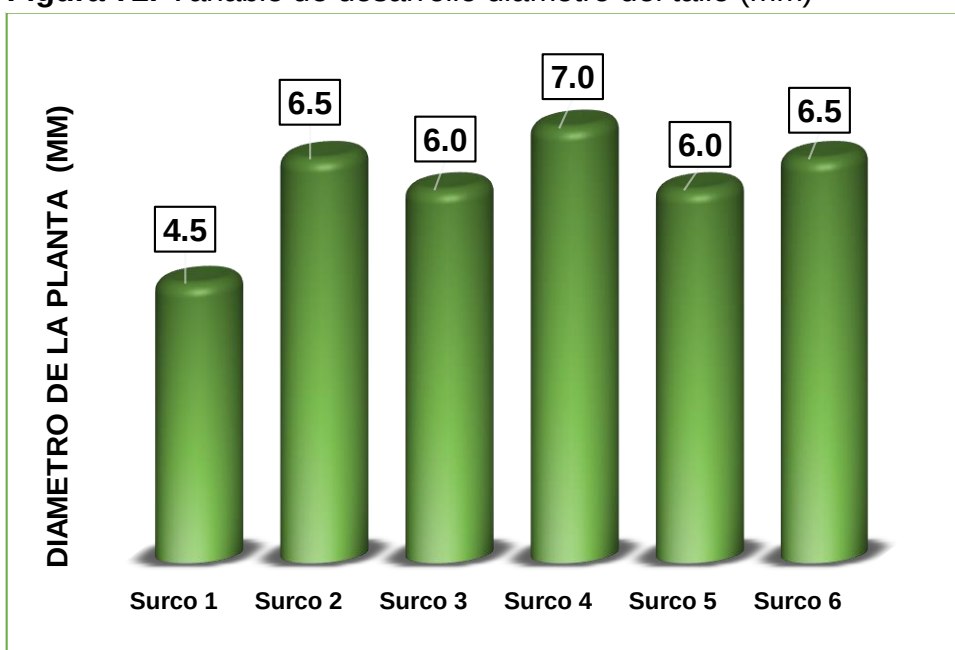
Para el cultivo de Pimiento F1, el diámetro del tallo es una variable clave para evaluar su adaptación al invernadero automatizado. La medición y el análisis continuo del diámetro del tallo a lo largo del ciclo de cultivo permiten determinar si las condiciones del invernadero, incluido el sistema de fertirriego FAE-UNI 2023, son idóneas para el desarrollo óptimo de esta especie.

El estudio “Adaptabilidad de variedades de pimiento en invernadero automatizado” investigó la respuesta de distintas variedades de pimiento al cultivo en invernaderos automatizados. Los resultados mostraron que el diámetro del tallo es un indicador

clave para determinar la adaptabilidad y el vigor de las plantas en estos sistemas. Las variedades con tallos más gruesos demostraron una mayor resistencia al estrés ambiental y mejores tasas de crecimiento y productividad, destacando la importancia de este parámetro para evaluar la eficiencia de las condiciones de cultivo, incluido el manejo del riego y la fertilización (Ramírez-Godoy, 2019).

- **Diámetro del tallo a los 25 DDS**

Figura 72. Variable de desarrollo diámetro del tallo (mm)



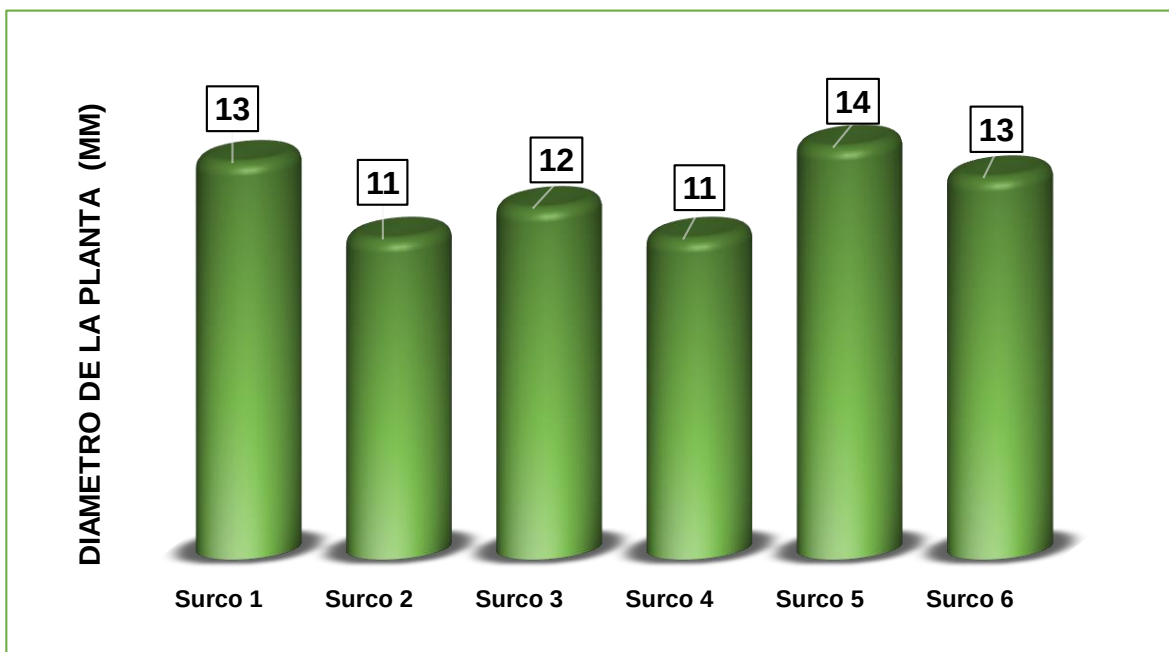
Fuente: Elaboración propia.

La figura 72, se refleja una notable variabilidad en el diámetro del tallo de las plantas de pimienta entre los diferentes surcos. Los diámetros promedio más elevados se encuentran en los surcos 2, 4 y 6, con valores de 6.5 mm, 7 mm y 6.5 mm, respectivamente. Por otro lado, los diámetros promedio más bajos se observan en los surcos 1, 3 y 5, con medidas de 4.5 mm y 6 mm respectivamente.

En resumen, el diámetro medio del tallo de las plantas de pimienta en los 6 surcos evaluados es de 6.8 mm.

- Diámetro del tallo a los 50 DDS

Figura 73. Variable de desarrollo diámetro del tallo (mm)



Fuente: Elaboración propia.

La figura 73, muestra una variabilidad considerable en el diámetro del tallo de las plantas de pimienta, entre los surcos. Los valores se observan de forma que varían, es decir todas las plantas muestreadas presentaron variabilidad en su diámetro respectivamente.

Los surcos que obtuvieron el diámetro mayor a como se puede observar son los surcos 1, 5 y 6 con medidas de 13 mm, 14 mm y 13 mm, y los diámetros menores corresponden a los surcos 2, 3 y 4 con medidas de 11 mm, 12 mm y 11 mm respectivamente, para un diámetro general de 12 mm en promedio.

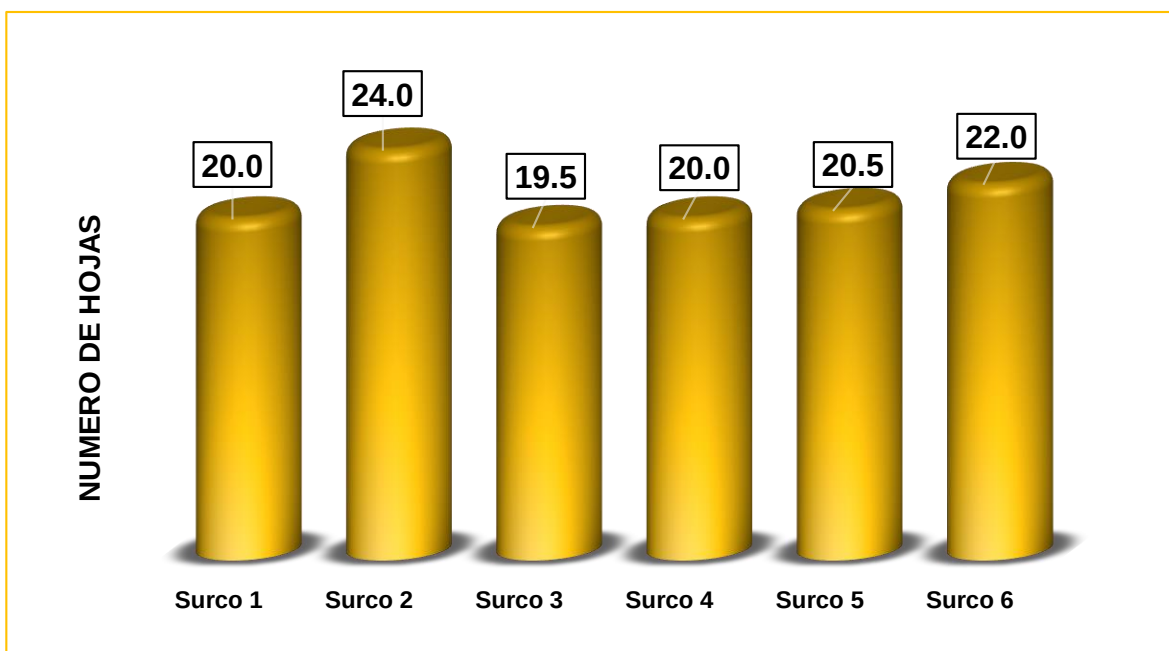
➤ **Variable de desarrollo número de hojas de la planta**

El número de hojas de la planta es una variable de desarrollo de gran importancia para la evaluación del rendimiento productivo del pimiento en invernadero automatizado. Al analizar esta variable, se puede determinar la adaptabilidad de la especie a las condiciones del invernadero y obtener información valiosa para el manejo del cultivo.

Investigadores en Chile evaluaron el impacto del manejo de la hoja en el rendimiento del pimiento cultivado en invernaderos automatizados. El estudio concluye que el control del crecimiento foliar, incluyendo la densidad de hojas, es crucial para mejorar la eficiencia en la producción y para la adecuada adaptación de las plantas a las condiciones específicas del invernadero (Molina-Montenegro, 2020).

- **Numero de hojas a los 25 DDS**

Figura 74. Variable de desarrollo número de hojas de la planta

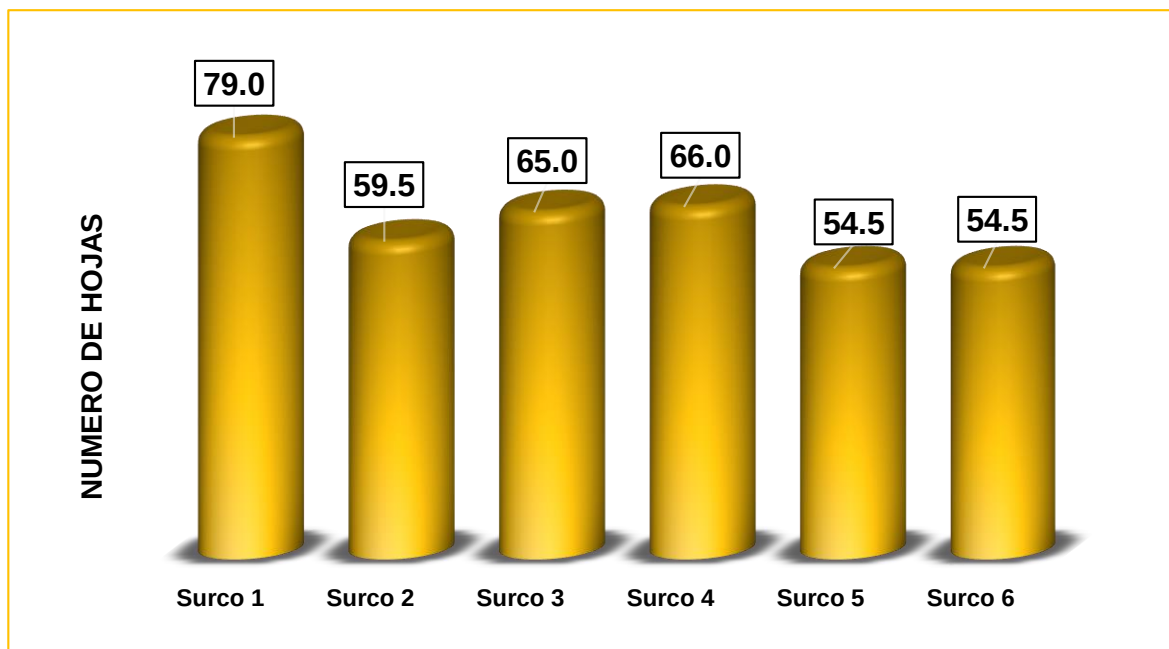


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 85, se muestra que el número promedio de hojas por planta de pimiento, la cual varía entre 20 y 24 hojas en los diferentes surcos. Sin embargo, en general, el número de hojas por planta se encuentra cercano al promedio general de 21.16 hojas.

- **Numero de hojas a los 50 DDS**

Figura 75. Variable de desarrollo número de hojas de la planta



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 75, se muestra una variabilidad considerable en el número de hojas por surco. Los surcos 1, 3 y 4 presentan un número de hojas superiores entre los surcos, mientras que los surcos 2, 5 y 6 presentan un número de hojas inferior al promedio. Esta variabilidad podría deberse a diferentes factores, como la exposición a la luz solar, la disponibilidad de agua y nutrientes, o la presencia de plagas o enfermedades, en general, el número de hojas por planta en promedio general es de 63.3 hojas.

➤ **Variable de desarrollo ancho de las hojas de la planta**

El cultivo de pimiento dentro de un invernadero automatizado, el ancho de las hojas se presenta como una variable crucial para el desarrollo óptimo de las plantas. Las hojas más anchas incrementan la superficie foliar, lo que mejora significativamente la capacidad de las plantas para captar la luz solar.

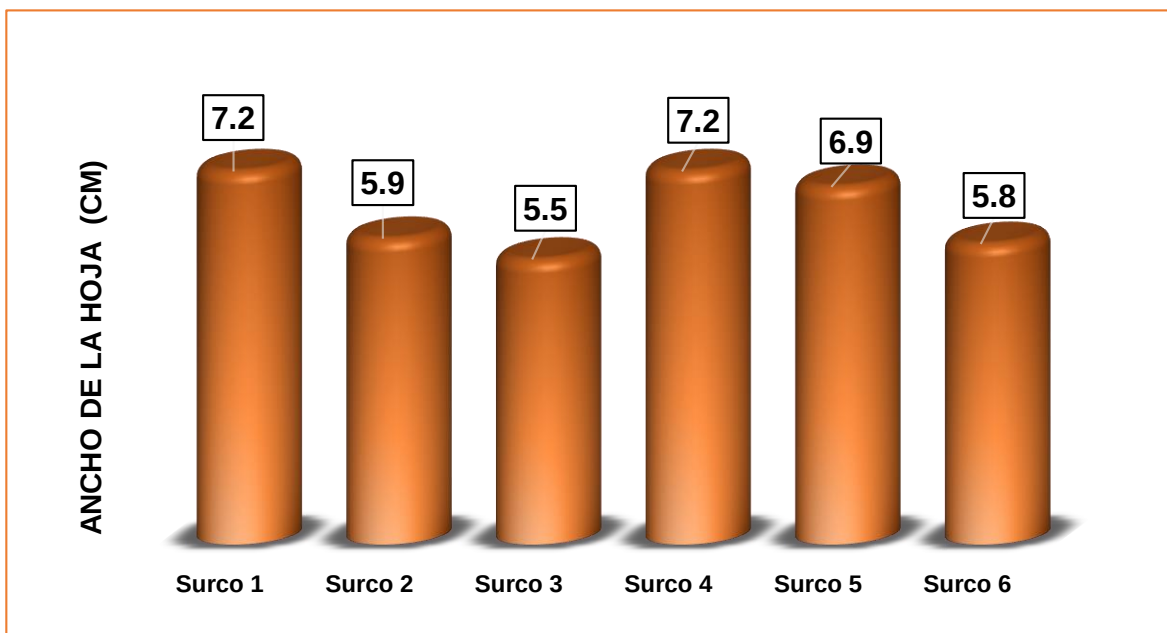
Esta captación eficiente de luz es vital para la fotosíntesis, el proceso fundamental que permite la producción de energía y biomasa. Además, una mayor superficie foliar favorece la absorción de nutrientes y agua, elementos esenciales para el crecimiento y la fructificación del pimiento. Un desarrollo foliar robusto también actúa como un indicador de la salud general de la planta, reflejando un adecuado estado nutricional e hídrico, lo que puede ayudar a identificar y corregir problemas antes de que impacten gravemente el rendimiento. Por lo tanto, monitorear y optimizar el ancho de las hojas es esencial para maximizar la productividad y asegurar el éxito del cultivo de pimiento en invernaderos automatizados.

Este el estudio “Efecto de la superficie foliar en el rendimiento de pimiento cultivado en invernadero” investiga cómo la superficie foliar influye en el rendimiento de los pimientos cultivados en condiciones controladas de invernadero.

Los autores encontraron que un mayor ancho de las hojas está directamente relacionado con una mayor eficiencia en la captación de luz solar y una mejora en la fotosíntesis. Esta relación resulta en un incremento significativo en la producción de biomasa y el rendimiento de frutos. Además, el estudio destaca que las hojas más anchas permiten una absorción más eficiente de nutrientes y agua, promoviendo un crecimiento más vigoroso y una mayor resistencia a condiciones de estrés (Francisco García-Sánchez, 2022).

- **Ancho de la hoja a los 25 DDS**

Figura 76. Variable de desarrollo ancho de la hoja (cm)



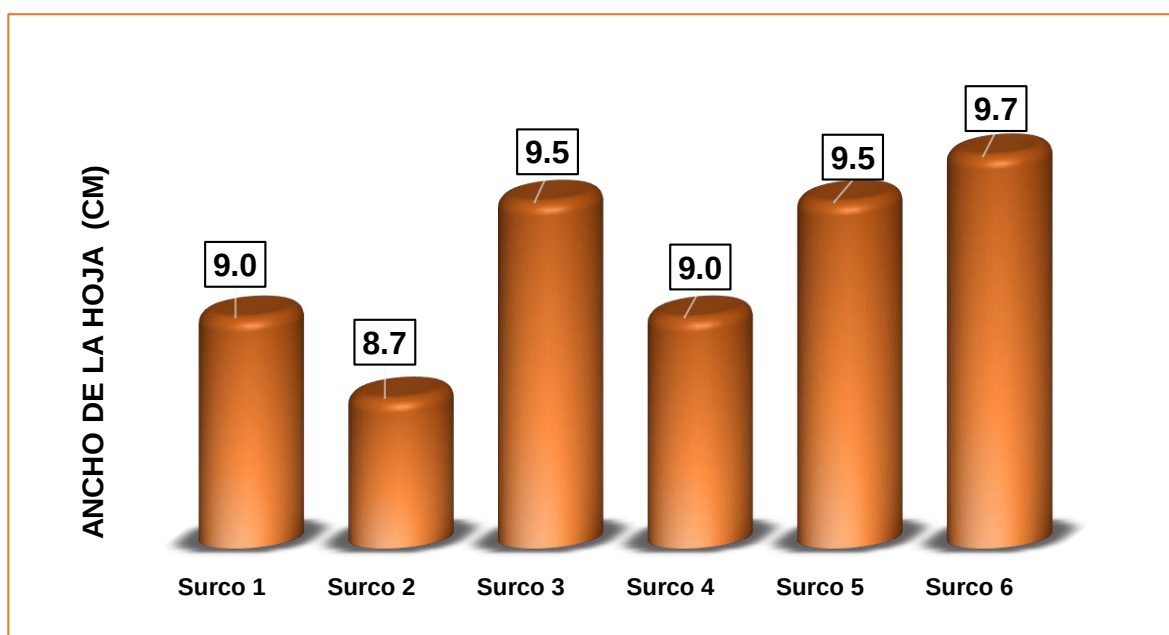
Fuente: Elaboración propia.

En el grafico 76, se ilustra una notable variación en el ancho de las hojas entre los diferentes surcos a los 25 días después de la siembra (DDS). Los surcos 1, 4 y 5 presentan los mayores anchos de hoja promedio, con valores de 7.2 cm, 7.2 cm y 6.9 cm, respectivamente. En contraste, los surcos 2, 3 y 6 muestran los menores anchos de hoja promedio, con 5.9 cm, 5.5 cm y 5.8 cm, respectivamente. Esta variabilidad puede ser atribuida a diversos factores como las condiciones ambientales, las características genéticas de las plantas o las técnicas de cultivo empleadas.

En términos generales, el ancho promedio de las hojas en todos los surcos es de 6.4 cm.

- **Ancho de la hoja a los 50 DDS**

Figura 77. Variable de desarrollo ancho de la hoja (cm)



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 77, se muestra una clara variación en el ancho de las hojas entre los surcos a los 50 días después de la siembra (DDS). Los surcos 3, 5 y 6 tienen los anchos promedio de hojas más altos, con 9.5 cm, 9.5 cm y 9.7 cm, respectivamente. En contraste, los surcos 1, 2 y 4 tienen los anchos promedio más bajos, con valores de 9.0 cm, 8.7 cm y 9.0 cm.

Esta variabilidad podría ser resultado de múltiples factores, como las condiciones ambientales, las características genéticas de las plantas o las prácticas de cultivo aplicadas. En promedio, el ancho de las hojas en todos los surcos es de 9.2 cm.

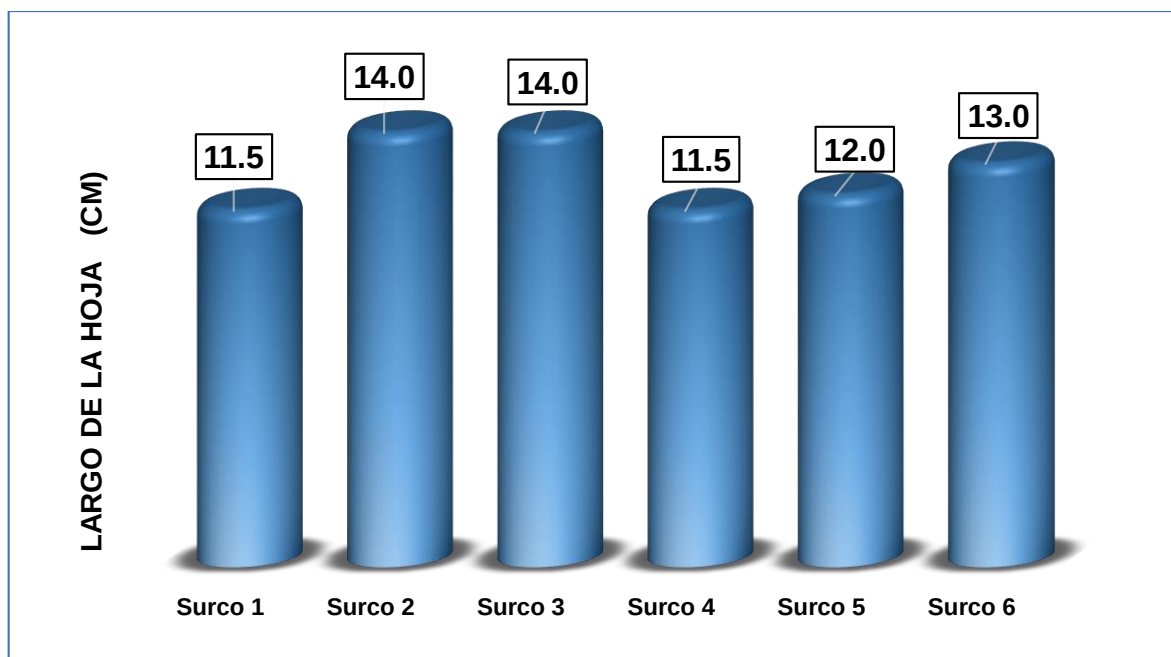
➤ **Variable de desarrollo largo de la hoja de la planta**

El largo de la hoja es crucial en el desarrollo vegetativo de las plantas en invernadero, proporcionando indicadores clave para diversos aspectos. Además de revelar el vigor y la salud general de la planta, el largo de la hoja influye directamente en la determinación del área foliar, crucial para la fotosíntesis, y por ende, para el crecimiento y desarrollo óptimo de la planta. La eficiencia fotosintética se ve beneficiada por hojas más largas, que ofrecen una mayor superficie para captar la luz solar, maximizando así la producción de energía vital.

Según investigaciones como las realizadas por Alemu, el tamaño de la hoja y su longitud son indicadores visuales confiables del vigor de las plantas en invernadero. Plantas con hojas más largas suelen estar asociadas con un mejor estado de salud y vigor debido a un mayor desarrollo estructural y metabólico (Alemu, Lin, & Smith, 2019).

- **Largo de la hoja a los 25 DDS**

Figura 78. Variable de desarrollo largo de la hoja de la planta (cm)

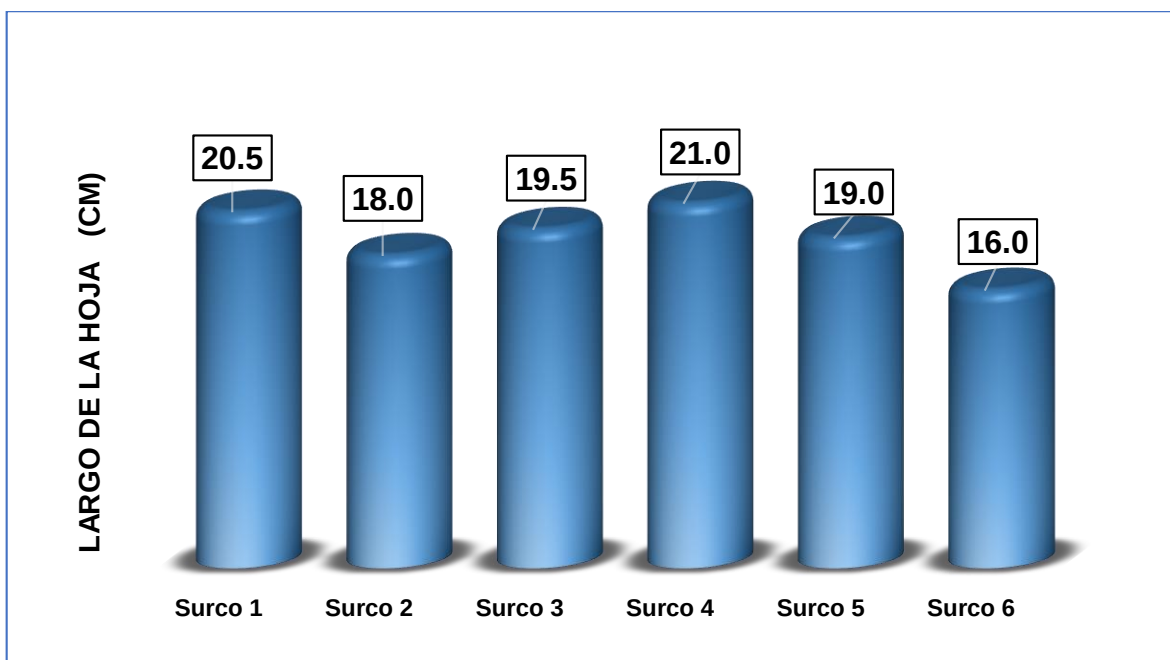


Fuente: Elaboración propia.

La longitud de las hojas varía de manera notable a los 25 días después de la siembra (DDS), entre los surcos. El surco 2 y 3 tienen el promedio de longitud de hoja más alto (14 cm), mientras que el surco 1 y 4 tienen el promedio más bajo (11 cm), los surcos 5 y 6 tiene valores dentro de ese rango, la longitud general de todos los surcos es de 12.6 cm.

- **Largo de la hoja a los 50 DDS**

Figura 79. Variable de desarrollo largo de la hoja de la planta (cm)



Fuente: (Elaboración propia)

La figura revela una variabilidad considerable en el largo de las hojas entre los surcos a los 50 días después de la siembra (DDS). Los surcos 1, 3 y 4 tienen los largos promedio de hojas más altos, con 20.5 cm, 19.5 cm y 19.0 cm, respectivamente. En contraste, los surcos 2, 5 y 6 tienen los largos promedio más bajos, con 18.0 cm, 19.0 cm y 16.0 cm. Esta variabilidad puede deberse a varios factores, como las condiciones ambientales, la genética de las plantas o las prácticas de cultivo. En general, el largo promedio de las hojas para todos los surcos fue de 16.55 cm.

En la tabla 13, se hace un resumen de los valores obtenidos a través del levantamiento de datos a los 25 días después de la siembra y a los 50 días después de la siembra, a las plantas que se utilizaron de muestra, para determinar las variables de desarrollo dentro del invernadero automatizado.

Tabla 13. Resultados finales promedios del cultivo de pimiento registrado en las 48 plantas muestreadas a los 25 DDS Y 50 DDS

TOTAL, DE PLANTAS MUESTREADAS	25 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA	50 DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA
	48 PLANTAS MUESTREADAS	48 PLANTAS MUESTREADAS
ALTURA PROMEDIO (cm)	25.8	73.0
DIAMETRO DEL TALLO PROMEDIO (mm)	0.6	1.2
NUMERO DE HOJAS PROMEDIO	21.0	63.1
ANCHO DE LA HOJA PROMEDIO(CM)	6.4	9.2
LARGO DE LA HOJA PROMEDIO (CM)	12.7	19.0

Fuente: Elaboración propia.

8.2.4 Análisis de las variables de cosecha del cultivo de Pimiento F1.

Las variables de cosecha en un cultivo son cruciales para asegurar una producción óptima en términos de cantidad y calidad, como el largo y ancho del fruto, el número de frutos y el peso del fruto, son indicadores clave del rendimiento y la calidad de un cultivo.

El largo y ancho del fruto son medidas que permiten evaluar el tamaño y la forma del producto final, aspectos que influyen directamente en la aceptación del mercado y el valor comercial, un tamaño uniforme y adecuado es preferido tanto por consumidores como por procesadores, ya que facilita el manejo, empaquetado y procesamiento del producto.

El número de frutos por planta es un indicador del potencial productivo del cultivo; un mayor número de frutos generalmente sugiere una buena salud de la planta y condiciones de cultivo favorables. Sin embargo, es importante considerar que una planta puede producir muchos frutos de menor tamaño si las condiciones de nutrientes y agua no son óptimas.

El peso del fruto es otra variable crítica, ya que está directamente relacionado con el rendimiento total del cultivo. Frutos más pesados generalmente indican un buen desarrollo y maduración, lo que también se traduce en un mejor valor económico.

La combinación de estas variables proporciona una visión integral del éxito del cultivo y permite a los agricultores tomar decisiones informadas sobre el manejo de los recursos y las prácticas agronómicas. Además, el monitoreo y la optimización de estas variables a través de técnicas avanzadas de cultivo, como los sistemas automatizados de invernadero, pueden maximizar el rendimiento y la calidad de la cosecha, asegurando la sostenibilidad y rentabilidad del sistema agrícola.

En la figura 80. Se hace una representación visual de todos los frutos cosechados en el primer corte realizado el 05 de noviembre del año 2023.

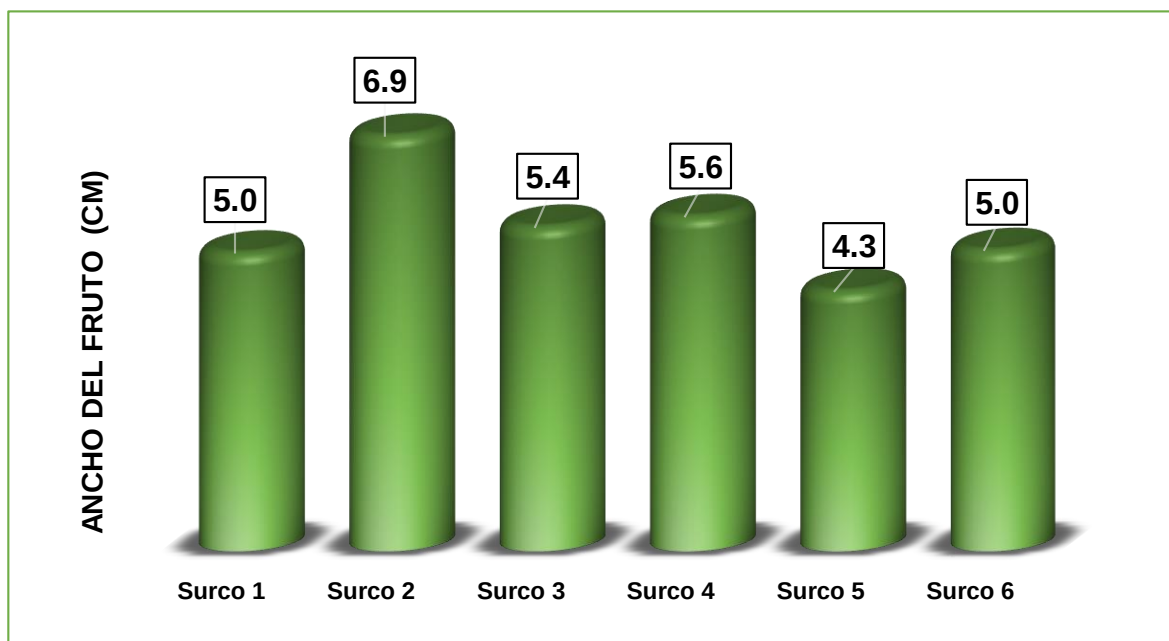
Figura 80 Acopio de todos los frutos cosechados en el primer corte



Fuente: Elaboración propia.

- **Ancho del fruto**

Figura 81. Variable de cosecha ancho del fruto (cm)



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 92, se representa el ancho del fruto en promedio de las 48 plantas muestreadas, los datos se agruparon por surco, cada barra representa la sumatoria de los surcos de la nave 1 y nave 2, en donde los frutos del surco 1, obtuvieron un ancho promedio de 5 cm, en el surco 2 un ancho de 6.9 cm, en el surco 3 un ancho de 5.4 cm, en el surco 4 un ancho de 5.6 cm, en el surco 5 un ancho de 4.3 y el surco 6 un ancho de fruto de 5 cm, recalcando que estos promedios representan, el ancho de fruto promedio de las 48 plantas muestreadas durante los 16 cortes realizados, en donde se obtuvo un ancho de fruto a lo largo del periodo de cosecha de 5.36 cm.

A través del análisis de los datos registrados de las 48 plantas muestreadas, durante los 16 cortes realizados, se obtuvo un ancho promedio de fruto de 5.36 cm, tomando como referencia los valores de cosecha óptima para este híbrido, señala un ancho de fruto de 5 cm a 7 cm como valores óptimos de producción, se puede decir que valor obtenido durante la evaluación fue optimo ya que se encuentra dentro de los valores de referencia establecidos, cumpliendo así de una manera satisfactoria.

En la figura 82, Se hace una representación visual del momento en el que se le toma el ancho de fruto a una fruta de pimiento, apoyándonos de una regla milimétrica.

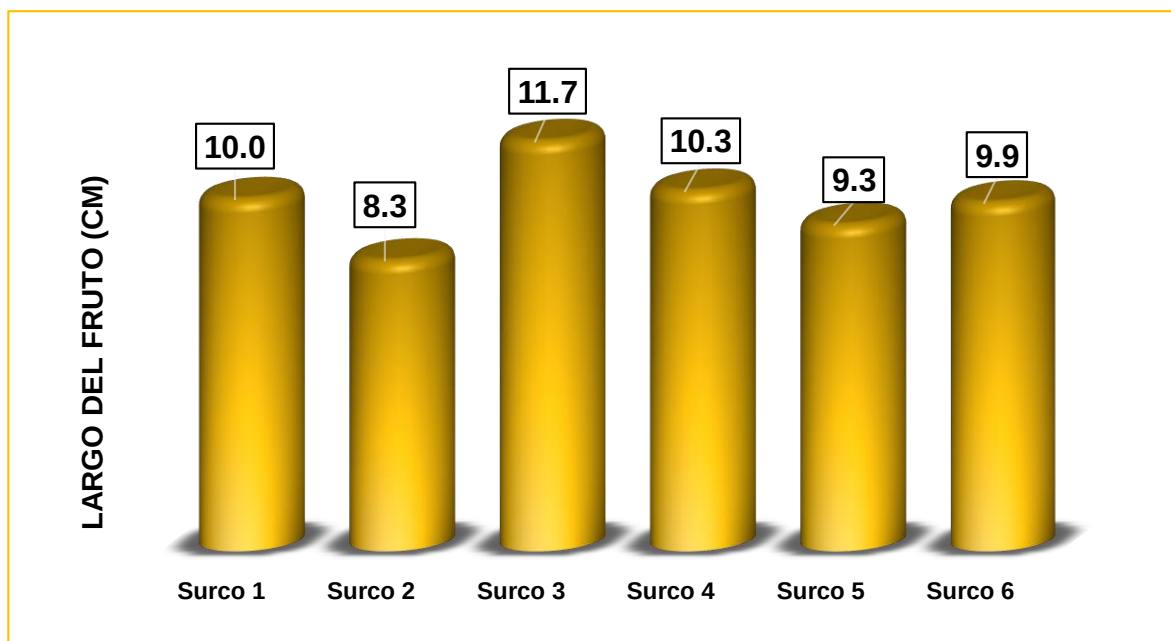
Figura 82 Toma de la variable de cosecha ancho del fruto



Fuente: Elaboración propia.

- **Largo del fruto**

Figura 83. Variable de cosecha largo del fruto



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 83, se representa el largo del fruto en promedio de las 48 plantas muestreadas, los datos se agruparon por surco, cada barra representa la sumatoria de los surcos de la nave 1 y nave 2, en donde los frutos del surco 1, obtuvieron un largo de fruto promedio de 10 cm, en el surco 2 un largo de fruto de 8.3 cm, en el surco 3 un largo de fruto de 11.7 cm, en el surco 4 un largo de fruto de 10.3 cm, en el surco 5 un largo de fruto de 9.3 cm y el surco 6 un largo de fruto de 9.9 cm, recalcando que estos promedios representan, el largo de fruto promedio de las 48 plantas muestreadas durante los 16 cortes realizados , en donde se obtuvo un largo de fruto promedio a lo largo del periodo de cosecha de 9.9 cm.

A través del análisis de los datos registrados de las 48 plantas muestreadas, durante los 16 cortes realizados, se obtuvo un largo promedio de fruto de 9.9 cm, tomando como referencia los valores de cosecha óptima para este híbrido, señala un largo de fruto de 15 cm a 17cm como valores óptimos de producción, se puede decir que valor obtenido durante la evaluación no fueron los adecuados ya que no se encuentran dentro de los valores de referencia, sin embargo, se aproximó.

Hay posibles factores que influyeron en que el fruto no alcanzara un largo dentro de los valores óptimos, como las variables edafoclimáticas que se mantuvieron fuera del rango establecido para el cultivo de pimiento, de igual manera las variables descriptoras establecen para realizar el primer corte es entre 70 a 75 días después de la siembra, en el caso del cultivo evaluado, el primer corte se realizó a los 52 días después de la siembra lo que pudo haber limitado que alcanzara el largo óptimo.

En la figura 84, se hace una representación visual del momento en el que se le toma el largo de fruto a una fruta de pimiento, apoyándonos de una regla milimétrica.

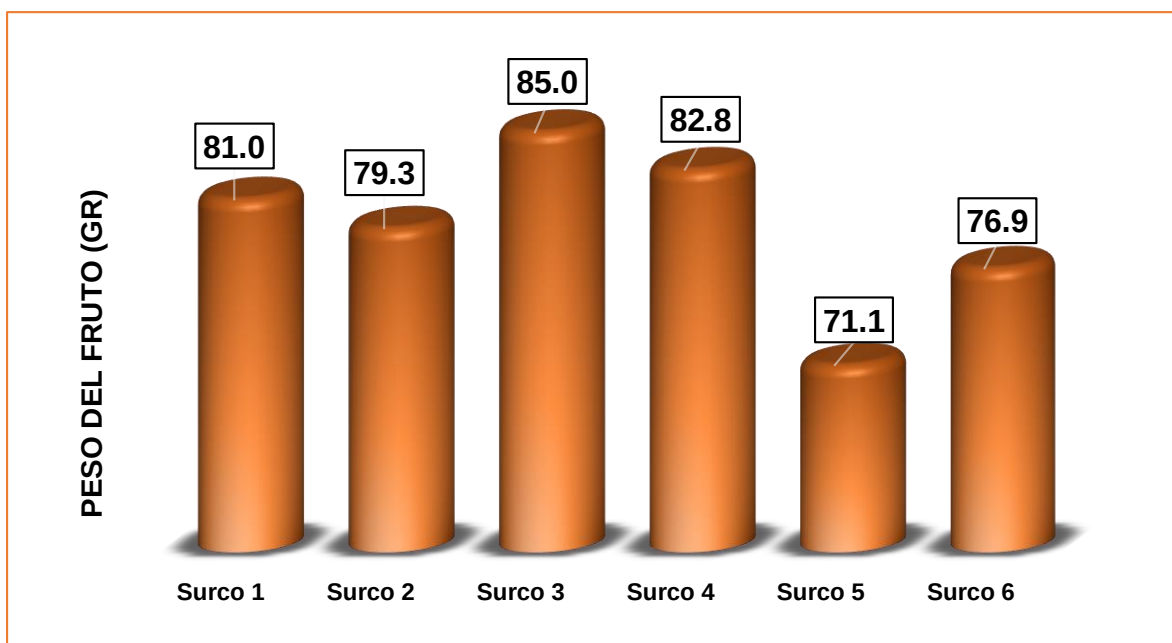
Figura 84. Toma de la variable largo de fruto.



Fuente: Elaboración Propia.

➤ **Peso del fruto**

Figura 85. Variable de cosecha peso del fruto



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 85, se representa el peso del fruto en promedio de las 48 plantas muestreadas, los datos se agruparon por surco, cada barra representa la sumatoria de los surcos de la nave 1 y nave 2, en donde los frutos del surco 1, obtuvieron un peso de fruto promedio de 81 gr, en el surco 2 un peso de fruto de 79.3 gr, en el

surco 3 un peso de fruto de 85 gr, en el surco 4 un peso de fruto de 82.8 gr, en el surco 5 un peso de fruto de 71.1 gr y el surco 6 un peso de fruto de 76.9 gr, recalando que estos promedios representan, el peso de fruto promedio de los 16 cortes realizados, en donde se obtuvo un peso de fruto promedio a lo largo del periodo de cosecha de 79.35 .

En la figura 86, se hace una representación visual del momento en el que se le toma el peso a una fruta de pimiento, apoyándonos de una balanza.

Figura 86. Toma del peso del fruto (gr)



Fuente: Elaboración Propia.

Una vez que se conoció el total de frutos cosechados que fue de 1920 unidades de pimiento, se determinó el número de fruto por planta, dando como resultado 40 unidades de pimiento en promedio por cada planta.

Tabla 14. Promedio de los valores obtenidos de las variables de cosecha

Total, de plantas muestreadas	48 plantas de pimiento
Variable ancho del fruto	5.4 cm
Variable largo del fruto	9.93 cm
Variable peso del fruto (gr)	79.34
Variable fruto por planta	40 frutos / Planta

Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis del rendimiento Productivo (ton/ha), del cultivo de Pimiento caudillo F1**

Área del terreno

El área del terreno se representa en metros cuadrados, la cual este compuesto por dos naves de pimiento, que de largo miden 47 metros y tienen un ancho cada una de 9.6 metros, para un ancho total de 19.2 metros, en base a estos datos se procedió a determinar el área del terreno cultivado dando un área de 902 m².

$$\text{Área del terreno (m}^2\text{)} = \text{Ancho del terreno (m)} \times \text{Ancho del terreno (m)}$$

$$\text{Área del terreno (m}^2\text{)} = 19.2 \text{ m} \times 47 \text{ m} = \mathbf{902 \text{ m}^2}$$

Número total de plantas por surco

Se determinó el número total de plantas por surco, los surcos median 47 metros de largo y el espaciamiento entre plantas fue de 0.60 metros, dando como resultado 78 plantas por surco.

Número de plantas por surco

$$= \text{Largo del surco (m)} / \text{Espaciamiento entre planta (m)}$$

$$\text{Número de plantas por surco} = \frac{47 \text{ m}}{0.60 \text{ m}} = \mathbf{78 \text{ plantas/surco}}$$

🌱 Número total de plantas en el área

Se realizaron los cálculos para determinar el número total de plantas existente en el área de siembra en donde se realizó la evaluación, se multiplico el número de plantas por sur con el número total de surcos, eran dos naves de pimienta cada una compuesta por 6 surco, para un total de 12 surcos en el área, dando como resultado 936 plantas en total.

Número total de plantas

$$= \text{Número de plantas por surco} * \text{Número total de surcos}$$

$$\text{Número total de plantas} = 78 \frac{\text{plantas}}{\text{surco}} * 12 \text{ surcos} = \mathbf{936 \text{ Plantas}}$$

🌱 Número de plantas muestreadas

Para determinar el número de plantas muestreadas se calculó mediante el número de plantas muestreadas por surco, las cuales fueron 4 plantas seleccionadas al azar, esta se multiplicó con el número total de surcos, los cuales fueron 12 surcos, dando un total de 48 plantas muestras.

Número total de plantas muestreadas

$$= \text{Número de plantas muestreadas por surco} * \text{Número total de surcos}$$

$$\text{Número total de plantas muestreadas} = 4 \text{ Plantas} * 12 \text{ surcos} = \mathbf{48 \text{ plantas}}$$

🌱 Número total de frutos cosechados

Se le realizaron un total de 16 cortes de pimienta a las 48 plantas que se tenían como muestra, en donde se realizó la suma total por corte, para poder determinar el número total de frutos cosechados dando como resultados 1920 frutos (**Ver Anexos Tabla 39**).

Peso promedio de los frutos cosechados

Se contabilizaron el número de frutos que cada planta produjo durante los 16 cortes que se llevaron a cabo, en donde se determinó el peso de cada fruto, se sumaron todos los pesos y luego se procedió a determinar el peso promedio de fruto, dando como resultado un peso promedio de 79.20 gramos (**Ver Anexos Tabla 38**).

Número promedio de frutos por planta en la muestra

Se determinó el número de fruto por plantas, utilizando el número total de frutos cosechados durante los 16 cortes realizados y luego se dividió entre el número total de plantas muestreadas, las cuales fueron 48 plantas que se utilizaron como muestra, dando como resultado 40 frutos por planta.

$$\text{fruto por planta} = \frac{\text{número total de frutos cosechados}}{\text{número de plantas muestreadas}}$$

$$\text{fruto por planta} = \frac{1920 \text{ frutos}}{48 \text{ plantas}} = 40 \text{ frutos/planta}$$

Peso por planta

Para determinar el peso total por planta, se utilizó el número de frutos por planta, el cual era de 40 frutos en promedio y este valor se multiplico con el peso promedio de fruto que era igual a 79.20 gramos o su equivalente en kilogramos 0.079, dando como resultado 3168 gramos o su equivalente en kilogramos 3.17.

$$\text{peso total por planta} = \text{frutos por planta} \times \text{peso promedio de los frutos}$$

$$\text{peso total por planta} = 40 \frac{\text{frutos}}{\text{planta}} \times 79.20 \frac{\text{gramos}}{\text{fruto}} = 3168 \frac{\text{gramos}}{\text{plantas}}$$

$$\text{peso total por planta} = 40 \frac{\text{frutos}}{\text{planta}} \times 0.079 \frac{\text{kilogramos}}{\text{fruto}} = 3.17 \text{ kg}$$

Rendimiento total del cultivo en el área de 902 m²

Paran determinar el rendimiento total en el terreno cultivado de pimienta que posee un área de 902 m², se determinó el peso promedio por planta, el cual era igual a

3.17 Kg, este valor se multiplicó con el número total de plantas dentro del área, dando como resultado 2967.12 kg.

Rendimiento total = Peso promedio por planta x Numero total de plantas

$$Rendimiento\ total = 3.17 \frac{Kg}{planta} \times 936\ plantas = 2967.12\ kg$$

Rendimiento por metro cuadrado

Para determinar el rendimiento en 1 metro cuadrado, se dividió el rendimiento total que es igual a 2967.12 kg, entre el área total equivalente a 902 m², dando como resultado

$$Rendimiento\ \left(\frac{kg}{m^2}\right) = \frac{Rendimiento\ total}{Area\ total}$$

$$Rendimiento\ \left(\frac{kg}{m^2}\right) = \frac{2967.12\ kg}{902\ m^2} = 3.29\ \frac{kg}{m^2}$$

Proyección del rendimiento a una hectárea (10,000 m²)

La proyección del rendimiento se determinó, utilizando el rendimiento en 1 metro cuadrado que es igual a 3.29 kilogramos por metro cuadrado, esto se multiplica por 10,000 m², equivalente a una manzana, dando como resultado

$$Rendimiento\ \left(\frac{kg}{ha}\right) = Rendimiento\ \left(\frac{kg}{m^2}\right) \times 10,000m^2$$

$$Rendimiento\ \left(\frac{kg}{ha}\right) = 3.29\ \left(\frac{kg}{m^2}\right) \times 10,000m^2 = 32,900\ kg/ha$$

Conversión del rendimiento a toneladas por hectárea (ton/ha)

A través de la siguiente ecuación se podrá determinar el rendimiento que se obtuvo del cultivo de pimienta, en donde para determinar el rendimiento en toneladas por hectárea, va ser igual al rendimiento en kilogramos por hectárea, que tiene un valor de 32,900 kg, este valor se divide entre 1000 para pasar a toneladas/hectárea.

$$\text{Rendimiento} \left(\frac{\text{ton}}{\text{ha}} \right) = \frac{\text{Rendimiento} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right)}{1000}$$

$$\text{Rendimiento} \left(\frac{\text{ton}}{\text{ha}} \right) = \frac{32,900 \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right)}{1000} = 32.9 \text{ ton/ha}$$

Tabla 15. Resume de resultados obtenidos del análisis del rendimiento productivo

Área del terreno	902 m ²
Número de plantas por surco	78
Número total de plantas en el área	936
Número de plantas muestreadas	48
Número total de frutos cosechados	1920
Peso promedio de fruto	79.20 gr
Numero promedio de frutos por planta	40
Peso por planta	3.17 gr/planta
Rendimiento total en el área de 902 m ²	2967.12 kg
Rendimiento por metro cuadrado	3.29 kg/m ²
Proyección del rendimiento a 10,000 m ²	32,900 kg/ha
Rendimiento toneladas/hectárea	32.9 ton/ha

Fuente: Elaboración propia.

8.3 Análisis de los costos e ingresos para la determinación de la utilidad del proyecto

El análisis de costos e ingresos es una herramienta fundamental para evaluar la viabilidad económica de cualquier proyecto. En el contexto de la determinación de la utilidad de un proyecto, este análisis permite identificar y cuantificar las diversas fuentes de gastos e ingresos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

En el presente análisis, se abordarán los componentes esenciales que integran los costos e ingresos del proyecto en estudio con el fin de determinar las utilidades.

8.3.1 Costos

Tabla 16. Costos

CULTIVO DE PIMIENTO					
Insumos	Presentación	Cantidad	Precio Unidad	Precio Unidad	Total
Simillas de pimiento Caudillo F1 sobre de 1000 semillas	sobre	1	88.4	C\$3,237.58	C\$3,237.58
Plástico Mulch	rollo	1	86.25	C\$3,158.84	C\$3,158.84
Cinta de goteo 8MIL/20CM/1.3 LPH	rollo	1	166.75	C\$6,107.00	C\$6,107.00
Humagro Calcium	Lts	1.5	14	C\$512.74	C\$769.11
Humagro Super phos	Lts	2	19.5	C\$714.17	C\$1,428.34
Humagro Manganese	Lts	0.5	22	C\$805.73	C\$402.87
Humagro 44 Mg	Lts	0.5	17	C\$622.61	C\$311.31
Humagro Cupper	Lts	0.5	18	C\$659.24	C\$329.62
Humagro Zmax	Lts	0.5	16	C\$585.99	C\$293.00
Humagro Boron	Lts	0.5	18	C\$659.24	C\$329.62
Humagro Super K	Lts	6	19	C\$695.86	C\$4,175.16
Sulfurea	Lts	0.5	33.68	C\$1,233.50	C\$616.75
SUB-TOTAL					C\$21,159.19

Fuente: Elaboración propia

Tabla17 Costos de materiales e insumos.

CULTIVO DE TOMATE					
Insumos	Presentación	Cantidad	Precio Unidad	Precio Unidad	Total
Simillas de tomate Pachuca sobre de 1000 semillas	sobre	1	176.54	C\$6,465.64	C\$6,465.64
Plástico Mulch	rollo	1	86.25	C\$3,158.84	C\$3,158.84
Cinta de goteo 8MIL/20C M/1.3LPH	rollo	1	166.75	C\$6,107.00	C\$6,107.00
Humagro Calcium	Lts	1.5	14	C\$512.74	C\$769.11
Humagro Super phos	Lts	2	19.5	C\$714.17	C\$1,428.34
Humagro Manganeso	Lts	0.5	22	C\$805.73	C\$402.87
Humagro 44 Mg	Lts	0.5	17	C\$622.61	C\$311.31
Humagro Cupper	Lts	0.5	18	C\$659.24	C\$329.62
Humagro Zmax	Lts	0.5	16	C\$585.99	C\$293.00
Humagro Boron	Lts	0.5	18	C\$659.24	C\$329.62
Humagro Super K	Lts	6	19	C\$695.86	C\$4,175.16
Sulfurea	Lts	0.5	33.68	C\$1,233.50	C\$616.75
SUB-TOTAL					C\$24,387.25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18.Costos de Producción Tomate

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Maquilado de plántulas Tomate	Unidad	1000	C\$3.20	C\$3,200.00
Preparación de suelo	d/h	3	C\$200.00	C\$600.00
Preparación de camas de siembra	d/h	4	C\$200.00	C\$800.00
Instalación de Sistema de riego por goteo	d/h	2	C\$200.00	C\$400.00
Instalación de cobertura mulch	d/h	2	C\$200.00	C\$400.00
Trasplante de plántulas de tomate	d/h	4	C\$200.00	C\$800.00
Aplicación de fertilizante	d/h	3	C\$200.00	C\$600.00
Tutoreo	d/h	4	C\$200.00	C\$800.00
Control de plagas	d/h	4	C\$200.00	C\$800.00
Control de maleza	d/h	5	C\$200.00	C\$1,000.00
Riego	d/h	15	C\$200.00	C\$3,000.00
Cosecha	d/h	24	C\$200.00	C\$4,800.00
SUB-TOTAL				C\$17,200.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19.Costos de Producción Pimiento

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Maquilado de plántulas Pimiento	Unidad	1000	C\$3.20	C\$3,200.00
Preparación de suelo	d/h	3	C\$200.00	C\$600.00
Preparación de camas de siembra	d/h	4	C\$200.00	C\$800.00
Instalación de Sistema de riego por goteo	d/h	2	C\$200.00	C\$400.00
Instalación de cobertura mulch	d/h	2	C\$200.00	C\$400.00
Trasplante de plántulas de pimiento	d/h	4	C\$200.00	C\$800.00
Aplicación de fertilizante	d/h	3	C\$200.00	C\$600.00
Tutoreo	d/h	4	C\$200.00	C\$800.00
Control de plagas	d/h	4	C\$200.00	C\$800.00
Control de maleza	d/h	5	C\$200.00	C\$1,000.00
Riego	d/h	15	C\$200.00	C\$3,000.00
Cosecha	d/h	24	C\$200.00	C\$4,800.00
SUB-TOTAL				C\$17,200.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Total, Costos de Producción.

CULTIVO DE PIMIENTO		CULTIVO DE TOMATE	
Subtotal costos de materiales e insumos	C\$21,159.19	Subtotal costos de materiales e insumos	C\$24,387.25
Subtotal de costos de mano de obra	C\$17,200.00	Subtotal de costos de mano de obra	C\$17,200.00
Total costos de producción	C\$38,359.19	Total costos de producción	C\$41,587.25

8.3.2 Ingresos

➤ Peso promedio de la malla

Primeramente, se determinó el peso promedio de la malla en el caso del pimiento. en donde va ser igual al peso total de las mallas cosechadas, en donde dio un peso total de 140.63 kg y el número de malla fueron 7, dando como resultado 20.09 kg/malla.

$$\text{Peso promedio de la malla} = \frac{\text{peso total de todas las mallas cosechadas}}{\text{numero de mallas cosechadas}}$$

$$\text{Peso promedio de la malla} = \frac{140.63 \text{ kg}}{7 \text{ mallas}} = 20.09 \text{ kg/malla}$$

➤ Número total de mallas cosechadas

para determinar el número de mallas cosechadas se determinó el peso total de producción que fue de 2967.12 kg. Ver tabla 17. Este valor se dividió entre el peso promedio de malla que es de 20.09 kg en promedio, dando como resultado 147.69 mallas.

$$\text{Número total de malla cosechadas} = \frac{\text{Peso total de produccion}}{\text{Peso promedio de malla}}$$

$$\text{Número total de malla cosechadas} = \frac{2967.12 \text{ kg}}{20.09 \text{ kg/malla}} = 147.69 \text{ mallas}$$

➤ Ingresos totales

Para determinar los ingresos totales que obtuvo el cultivo, se multiplico el número de malla que es igual a 147.69 mallas por el precio de mercado, el cual la malla tenía un costo de 700 córdobas.

Ingresos totales

$$= \text{Número total de malla cosechadas} * \text{Precio de mercado de la malla}$$

$$\text{Ingresos totales} = 147.69 \text{ mallas} * 700 \text{ cordobas} = 103,383 \text{ cordobas}$$

➤ **Utilidades**

Una vez conocido el ingreso total de la venta de las hortalizas se realizará una relación costos/utilidades todos los costos de producción se les restaran a los ingresos netos utilizando la siguiente ecuación:

- **Cultivo de Pimiento**

Utilidades = Ingresos netos - Costos de Producción

Utilidades = C\$ 103,383.00 - C\$ 38,359.19

Utilidades = C\$ 65,023.81

- **Cultivo de Tomate**

Utilidades = Ingresos netos - Costos de Producción

Utilidades = C\$ 0.00 - C\$ 41,527.25

Utilidades = C\$ -41,527.25

IX. CONCLUSIONES

- Se evaluaron las condiciones edafoclimáticas en el invernadero, resultando un ambiente subóptimo para el pimiento Caudillo F1 y el tomate Pachuca F1. Aunque Se evaluaron las condiciones edafoclimáticas en el invernadero, resultando un ambiente subóptimo para el pimiento Caudillo F1 y el tomate Pachuca F1. Aunque las propiedades físico-químicas del suelo fueron adecuadas, las altas temperaturas (35.6°C-38.0°C) afectaron negativamente, especialmente al tomate, que no logró polinización ni cuaje de frutos. El pimiento, sin embargo, mostró buena adaptación, alcanzando un rendimiento de 32.9 ton/ha con 1920 frutos cosechados en 16 cortes, la humedad relativa se mantuvo en valores óptimos de (45%-79.4%), lo que favoreció el desarrollo de los cultivos.
- En la evaluación del rendimiento productivo bajo el sistema de fertirriego FAE-UNI 2023, se observó una adecuada adaptabilidad del pimiento a las condiciones edafoclimáticas controladas del invernadero automatizado, alcanzando un desarrollo fenológico completo y un rendimiento productivo óptimo. Sin embargo, el tomate, a pesar de mostrar un crecimiento vegetativo adecuado en las primeras fases de desarrollo (25 y 50 días después de la siembra), no fructificó, lo que sugiere que las condiciones del invernadero no fueron ideales para su cuajado. Estos resultados resaltan la importancia de ajustar los parámetros climáticos en sistemas automatizados para optimizar la producción según las necesidades específicas de cada cultivo.
- A partir del análisis económico realizado en la evaluación del rendimiento productivo de las dos especies de hortalizas cultivadas invernadero automatizado con el sistema de fertirriego FAE-UNI 2023, se obtuvo un ingreso total de C\$ 103,383.00 por la venta de los frutos de Pimientos. Tras calcular los costos de producción, que ascendieron a C\$ 38,359.19 se determinó una utilidad neta de C\$ 65,023.81, y En el cultivo de tomate no se obtuvo ningún tipo de utilidad, ya que, debido a las condiciones edafoclimáticas, no se desarrollaron fruto por lo tanto no se cosecho, obteniendo una pérdida económica de C\$ 41,527.25.

Estos resultados confirman que, a pesar de los costos asociados con el manejo automatizado del invernadero y el fertirriego, la rentabilidad del sistema es positiva. La ecuación utilizada para determinar las utilidades muestra una clara diferencia favorable entre ingresos y costos, lo que indica que la inversión en este tipo de tecnología es económicamente viable para la producción intensiva de hortalizas. Esto refuerza la idea de que el uso de invernaderos automatizados con fertirriego no solo mejora el rendimiento productivo, sino que también ofrece un retorno de inversión atractivo.

X. RECOMENDACIONES

- Se recomienda un marco de siembra de 0.30 m de distancia entre planta y 1.50 m entre surco, esto con el objetivo de incrementar la densidad poblacional en el área.
- Se recomienda ajustar el sistema automatizado del invernadero para controlar mejor la temperatura, integrando ventilación, sombreado y enfriamiento evaporativo, con el fin de mantener la temperatura por debajo de 35°C y evitar el estrés térmico en los cultivos.
- Se propone seleccionar variedades o híbridos mejorados con mayor tolerancia al estrés térmico para optimizar la producción de tomate (*Solanum lycopersicum*) en condiciones de altas temperaturas. Estas opciones pueden mitigar el aborto floral y mejorar el rendimiento reproductivo, garantizando una mayor productividad en entornos cálidos.
- Se recomienda ajustar la frecuencia y dosis de fertirriego según las fases de desarrollo del cultivo, priorizando nutrientes clave en floración y fructificación, de las especies de hortalizas a establecer.
- Se sugiere ajustar los parámetros tecnológicos y ambientales en función de las necesidades específicas de cada especie, con el fin de maximizar su productividad agronómica.
- Se propone desarrollar estudios a largo plazo que incluyan diferentes estaciones del año, lo que permitirá evaluar cómo se comportan las hortalizas en diferentes condiciones climáticas y mejorar la planificación del cultivo.

XI. Bibliografía

- Agrios, G. N. (1995). *Fitopatología*. Editorial Limusa S.A. De C.V.
- Alemu, M. G., Lin, X., & Smith, D. L. (2019). *Impact of Leaf Length on Vegetative Development and Crop Quality in Greenhouse Conditions: Studies and Evidence*. Journal of Agricultural Research.
- Allende, M., Martínez, J. P., Salinas, L., ... Abarca, P. (2017). *Manual de cultivo del tomate bajo invernadero*. Santiago, Chile: INIA.
- almeria, s. h. (2017). Obtenido de <https://www.sistemashorticolasalmeria.com/blog/invernaderos-inteligentes/>
- Aranda-Gomez, J. L.-S. (2014). Efecto de la radiacion solar en el crecimiento y desarrollo de plantas horticolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* , 5(5).
- Baille, A. B. (1994). Simulación de transpiración de cultivos de invernadero a partir de condiciones climáticas externas. *Meteorología Agrícola* .
- Banco Interamericano de desarrollo. (2005). *El cultivo de sandía*.
- Basantes Ausay, C. E. (29 de Marzo de 2017). *RESPUESTA DEL TOMATE RIÑÓN (hycopersicum escolentum mil) cv Dominicc bajo invernadero a dos relaciones nitrato / armonio, mediante fertirriego por goteo*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/>: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4264/3/13T0808%20.pdf>
- Boulard, T. R. (2011). Impacto ambiental de la producción de tomate en invernadero en Francia. . *Agronomía para el Desarrollo Sostenible*, 37(5), 57.
- C. Stanghellini, F. K. (2011). Mejora del control ambiental en invernaderos mediante técnicas adaptativas. *Acta Horticulturae*, 1203-1210.
- Cabalceta, E., & Perez, J. (2017). Evaluacion del rendimiento y calidad de 15 genotipos de pimiento (capsicum Annuum L.) cultivadas bajo invernadero en Costa Rica. *Tecnología en marcha*, 3-14.
- Carguachi Gamboy, L. I. (2022). *Evaluación del rendimiento de lechuga crespa (Lactuca sativa L.) var. Batavia, en dos tipos de invernaderos, parroquia Calpi, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo*. Chimborazo: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

- Castilla, P. N. (2007). Invernaderos de plástico, Tecnología y manejo, (2ª ed, rev, y amp,): tecnología y manejo. En N. Castilla, *Invernaderos de plástico, Tecnología y manejo*, (2ª ed, rev, y amp,) (pág. 462). Mundi-Prensa Libros.
- Coffey, M. D., Elmore, C. L., & Shenk, J. (2016). Manejo de plagas para tomates. *UCANR Publications*.
- Concepto. (s.f.). Obtenido de Concepto: <https://concepto.de/presupuesto/>
- Cruz, J., & Monge, E. (2019). evaluar el rendimiento y la calidad de siete genotipos de pepino partenocárpico de tipo mediano (Corinto, Katrina, Macario, Modan, Paraíso, primavera y 22-20- 782), cultivados en condiciones de invernadero en la Estación Experimental Agrícola “Fabio Baudr. *Tecnologia en marcha*, 15.
- Curiosfera. (febrero de 2020). *Curiosfera*. Obtenido de Curiosfera: <https://curiosfera-historia.com/origen-e-historia-del-cultivo-de-hortalizas-y-vegetales/>
- Dr. Carlos Gómez, D. L. (2019). *Impacto de los Sistemas de Nebulización en la Calidad del Tomate en Invernaderos Automatizados*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Dr. Pedro Silva, D. M. (2020). *Reducción de Plagas y Enfermedades en Pimiento Mediante la Nebulización Controlada*. Brasil: Universidade Estadual de Campinas.
- Economipedia. (2020). Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/ingreso.html>
- FAO. (2016). *The Capsicum and Eggplant Newslette*.
- FAO. (2022). *Sanidad vegetal y salud alimentaria*.
- FAO. (2023). *El estado de la alimentación y la agricultura en el mundo 2023*. Roma: FAO.
- Fernandez, M. (2018). Estrategias de manejo termico en invernaderos en Argentina. *revista de agricultura* .
- Fernández, V. M. (2016). Comportamiento agronómico de 12 cultivares de tomate (*Lycopersicum esculentum*) Tisma, Nicargua. *La calera* , 60.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). *Anuario Estadístico 2023: Alimentación y Agricultura en el Mundo*. Roma, Italia: FAO Anuario Estadístico.
- Francisco García-Sánchez, J. L. (2022). *Efecto de la superficie foliar en el rendimiento de pimiento cultivado en invernadero*.
- García, R. A. (2014). Evaluación del crecimiento vegetativo y rendimiento del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en dos ambientes contrastantes. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 449-458.
- GGonzález. (2019). Ventilación natural en invernaderos chilenos. *Revista de Ingeniería Agronómica*.
- González-Dugo, V., Durand, J. L., & Gastal, F. (2010). Déficit hídrico y nutrición nitrogenada de los cultivos. *Agronomía para el Desarrollo Sostenible*.
- Govindarajan, R. N. (2021). *Principios de contabilidad*. Mexico.
- Guayaquil, u. (2019). *Densidad Aparente Densidad REAL*. Colombia.
- H. A. Ruiz, A. M. (2022). Efecto del largo de la hoja y el área foliar en la fotosíntesis y el crecimiento vegetativo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Argentina de Producción Vegetal*, pp. 57-65.
- Heuvelink, E. &. (1996). Influence of plant architecture on yield and quality of sweet pepper. *Scientia Horticulturae*, 275-286.
- Heuvelink, E. (2005). *Cultivo de tomate*. CABI.spring.
- Horticultura Efectiva. (s.f.). *GENERALIDADES DEL CULTIVO DE PIMIENTO*.
Obtenido de
<https://cursohorticulturamutile.blogspot.com/2020/02/generalidades-del-cultivo-de-pimiento.html>
- Iglesias, N. (2006). *Producción de hortalizas bajo cubierta*. Río Negro, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Regional Patagonia Norte. Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle.
- infoagro. (2010). *Infoagro.com*. Obtenido de Infoagro.com.
- Jarquín., D. D. (2015). *Evaluación del crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) variedad Shanty en tres distancias de*

- siembra, en condiciones de casa malla, finca Las Mercedes, UNA, Managua, 2013. Managua: Universidad Nacional Agraria.*
- Jerónimo J. Pérez-Parra, R. A. (2003-2004). *Efecto de un sistema de nebulización de alta presión sobre el clima y la bioproductividad de un cultivo de pimiento en invernadero.* Armelia, España.
- Jones, J. (2004). Respuesta de los cultivos a la temperatura . En J. Jones, *Enciclopedia de los suelos en el medio ambiente* (págs. 354-360). D. Hillel: Elsevier.
- Jones, J. W. (2001). Impacto de la variabilidad climática en la producción de tomate. *Sistemas Agropecuarios.*
- Jorge Jaramillo Noreña, V. P. (2006). *El cultivo del tomate bajo invernadero* . Rio Negro, Atioquia, Colombia : CORPOICA, Centro de Investigación La Selva.
- Juares, P. (2011). <http://dspace.uan.mx:8080/handle/123456789/567>. Obtenido de <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/567>
- L.F.M. Marcelis, E. H. (1998). Modelización de la producción de biomasa y el rendimiento de los cultivos. *Scientia Horticulturae.*, 83-111.
- López, S. A. (2003). Microclima y productividad de cultivos de invernadero con sistemas de enfriamiento evaporativo.
- Ludvik, B.; Giardina, E.; . (2017). *Requerimientos fisiologicos y limitantes tecnologicas en el cultivo de pimiento dulce* . Buenos Aires, Argentina : Horticultura argentina .
- M., A. G. (2012). *Fertirriego.* Madrid: Mundi-Prensa.
- Machado, A. A. (2007). Efecto del número de racimos por planta sobre el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista UPTC*, 339-348.
- Marschner, H. (2012). *Nutrición mineral de las plantas superiores.* Academic Press.
- Martorell, S. D. (2024). *prismab.com.* Obtenido de <https://prismab.com/blog/cual-es-el-nivel-de-humedad-que-puede-soportar-el-suelo-de-un-cultivo/>
- Medrano, E. L.-G. (2005). Influencia de diferentes factores ambientales en el crecimiento y rendimiento del pimiento dulce de invernadero. *Revista de Ciencia Hortícola y Biotecnología.*

- MIFYC. (Agosto de 2007). Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENE71N583ft.pdf>
- Minguez., D. J. (1995). Influencia de la nebulización en el microclima y las respuestas fisiológicas del pimiento dulce. *Revista de Ciencia Hortícola y Biotecnología*.
- Ministerio de Hacienda y Credito Publico. (2023). *Plan Nacional de Produccion, Consumo y Comercio 2022-2023*. Managua, Nicaragua: Autor.
- Molina-Montenegro, M. A.-R. (2020). Optimización del rendimiento de pimientos cultivados en invernaderos a través del manejo del desarrollo foliar. *Agricultura Técnica en Chile*, 80(4), 458-467.
- Morales, I., Sánchez-García, M. P., & Guzmán, P. (2010). *Manejo Integrado de Plagas en Hortalizas*. Editorial Universitaria.
- Nutricontrol Automatic fertigation & climate control. (2020). *LA HUMEDAD RELATIVA EN INVERNADERO*. Cartagena, España: Mark Sonoma.
- Peet, M. M. (1998). El efecto de la temperatura nocturna en los rendimientos de tomate cultivado en invernadero en climas cálidos. En S. y. Ahn, *Agricultural and Forest Meteorology* (págs. 92(3-4), 191-202.).
- Pérez Porto, J. G. (18 de Mayo de 2018). Obtenido de <https://definicion.de/hortalizas/>:
https://www.bing.com/search?q=que+son+las+hortalizas&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUqBAGAEAAyBAGAEAAyBAGBEAAyBAGCEAAyBAGDEAAyCQgEEEEUYQBjCAZIJCAUQRRhAGMIDMgkIBhBFGEAYwgMyCQgHEEUYYQBjCA9IBCjU4MDMwM2owajmoAgSwAgE&FORM=ANAB01&PC=U531
- Perez, J., Garcia, R., & M., L. (2023). Cultivo de hortalizas en invernadero automatizado utilizando fertirriego. *Horticultura*, 56-62.
- Perez, L. (2020). ImPacto del estres termico en la Produccion de Pimientos en Colombia. *Agronomia Colombiana*.
- Quimifca.es. (s.f.). <https://www.quimica.es/enciclopedia/Fertilizante.html>. Obtenido de <https://www.quimica.es/enciclopedia/Fertilizante.html>
- Ramírez-Godoy, A. H.-P. (2019). Adaptabilidad de variedades de pimiento en invernadero automatizado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.

- Rivera, D. (2021). Analisis de temeraturas en invernaderos en Mexico . *Tecnologia Agricola* .
- S. R. Adams, K. E. (2001). Efecto de la temperatura en el crecimiento y desarrollo de los frutos del tomate. *Annals of Botany*, 869–877.
- Sato, S. P. (2002). Las respuestas estomáticas a los cambios de luz y CO₂ explican los cambios en la conductancia estomática máxima". *Planta, Célula y Medio Ambiente*.
- Sung, J. K. (2015). Efecto de las altas temperaturas sobre la fotosíntesis, el crecimiento y el rendimiento de las plantas de tomate. *Horticultura, Medio Ambiente y Biotecnología*,.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología Vegetal*. Barcelona: Editorial Omega.
- Thierry Boulard, C. R. (2011). "Environmental impact of greenhouse tomato production in France" (Impacto ambiental de la producción de tomate en invernadero en Francia). *Agronomy for Sustainable Development*.
- Torres P., A. (. (2017). *Manual de cultivo del Tomate bajo invernadero*. La Cruz, Chile: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias, N° 377.
- Vega, R. e. (2019). Influence of Controlled Environment and Fertigation on the Growth and Height of Greenhouse Tomato Plants. *Journal of Plant Nutrition*. . *Revista de Nutrición Vegetal*. .
- Welles, M. M. (2005). Producción de tomate en invernadero. *Serie de Ciencia de la Producción de Cultivos en Horticultura*, 257-304.
- William Ernest Castle and Gregor Mendel. (1992). *Genetics and eugenics: a text-book for students of biology and a reference book for animal and plant breeders*. Harvard University Press.
- Zeledon, I. J. (2016). Influencia del cambio climatico en la produccion de hortalizas, en el Municipio de Esteli. *Revista de ciencia Agrícolas*, 1-12.

XII. ANEXOS DE TABLAS

Tabla 20. Datos de temperatura promediados registrando durante 60 días antes y después de la nebulización.

HORA	Temperatura antes de nebulizar (C°)	Temperatura después 30 de nebulizar (C°)
10.00	38.5	37.9
12.00	40.5	37.3
14.00	38.2	36.8
10.00	37.9	34.7
12.00	40.2	34
14.00	37.5	36.7
10.00	39.2	37.5
12.00	40.5	37.7
14.00	38.5	37.7
10.00	36.2	34
12.00	39.5	36.5
14.00	37.8	36.9
10.00	36	34.5
12.00	40.2	37.5
14.00	28.4	26
10.00	37.5	36
12.00	38.9	35.5
14.00	36.5	35.5
10.00	37.5	34.1
12.00	42.1	36.5
14.00	38.9	36.8
10.00	32.3	30.8
12.00	40	37.5
14.00	38	36.5
10.00	38.50	37.90

12.00	40.50	37.30
14.00	38.20	36.80
10.00	37.90	34.70
12.00	40.20	34.00
14.00	37.50	36.70
10.00	39.20	37.50
12.00	40.50	37.70
14.00	38.50	37.70
10.00	36.20	34.00
12.00	39.50	36.50
14.00	37.80	36.90
10.00	36.00	34.50
12.00	40.20	37.50
14.00	28.40	26.00
10.00	37.50	36.00
12.00	38.90	35.50
14.00	36.50	35.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Datos de humedad relativa promediados registrando durante 60 días antes y después de la nebulización.

HORA	HUMEDAD RELATIVA ANTES DE LA NEBULIZACION (%)	HUMEDAD RELATIVA DESPUES DE LA NEBULIZACION (%)
10.00	43	78
12.00	45	78
14.00	54	79
10.00	41	76
12.00	45	77
14.00	56	79
10.00	58	79.9
12.00	52	80
14.00	53	78
10.00	54	76
12.00	48	67
14.00	48	74
10.00	53	76
12.00	44	74
14.00	51	73
10.00	46	79
12.00	41	82
14.00	53	83
10.00	53	64
12.00	50	69
14.00	47	75
10.00	54	75
12.00	52	78
14.00	59	42
10.00	60	54
12.00	56	78
14.00	44	78
10.00	55	79
12.00	57	76
14.00	49	77
10.00	47	79
12.00	48	79.9
14.00	60	80
10.00	48	78
12.00	57	76

14.00	56	67
10.00	54	74
12.00	42	76
14.00	51	74
10.00	59	73
12.00	41	79
14.00	47	82
10.00	47	83
12.00	53	64
14.00	51	69
10.00	47	75
12.00	48	75
14.00	45	78
10.00	52	42
12.00	57	54
14.00	42	76
10.00	47	74
12.00	45	73
14.00	57	79

Fuente: Elaboración propia

❖ **Cultivo de tomate**

Tabla 22. Datos de las variables de desarrollo levantados a los 25 días después de la siembra en el cultivo de tomate

# Planta	Altura (cm)	Diámetro De Tallo(mm)	Numero De Hojas	Ancho De La Hoja(cm)	Largo De La Hoja(cm)
1	69	9	119	5	10
14	79	11	131	5	12
42	48	9	95	4	9
56	50	11	99	4	10
8	36	12	84	4	9
24	68	11	120	5	11
46	73	13	134	6	13
74	58	1	107	5	11
1	62	11	110	5	12
15	48	1	92	4	10
27	67	12	115	5	12
38	69	12	120	5	13
28	53	1	102	4	11
35	77	14	152	5	13
54	63	13	131	5	13
67	65	13	147	5	13
23	56	10	130	5	9
17	56	10	106	5	10
37	77	13	189	6	13
59	58	10	95	5	10
33	67	13	108	4	11
58	69	13	147	5	14
56	70	12	160	5	13
16	80	14	201	5	14
7	76	13	159	5	11
72	79	14	161	5	12
49	54	9	95	5	10
31	57	9	112	5	10
2	65	10	114	4	10
45	73	15	146	5	10
79	77	14	172	5	11
60	77	14	170	5	13

18	66	13	145	5	13
43	66	13	133	5	12
61	70	14	164	5	12
71	73	13	195	5	14
46	50	10	101	5	10
18	66	10	120	5	11
64	62	9	117	5	12
70	58	9	119	4	10
19	61	9	132	4	10
69	50	9	115	4	9
64	64	10	138	5	11
48	39	8	87	3	8
20	79	14	189	5	14
33	74	14	180	5	14
48	70	15	187	5	13
65	67	12	144	5	13
Total de plantas muestreadas	Altura promedio (cm)	Diámetro del tallo promedio (mm)	Numero de hojas promedio	Ancho de la hoja promedio (cm)	Largo de la hoja promedio (cm)
48	64.4	11.0	133.1	4.8	11.4

Fuente: Elaboración propia

❖ **Variables de desarrollo del cultivo de tomate a los 25 días después de la siembra**

Tabla 23. Datos promediados de la variable de desarrollo altura de la planta en las dos naves de tomate

Planta	NAVE 1	NAVE 2	PROMEDIO
	ALTURA (cm)	ALTURA (cm)	
SURCO 1	61.5	66.5	64.0
SURCO 2	58.75	71.7	65.2
SURCO 3	61.5	68.8	65.1
SURCO 4	64.5	59.0	61.8
SURCO 5	61.75	53.5	57.6
Surco 6	71.5	72.5	72.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Datos promediados de la variable de desarrollo diámetro de la planta en las dos naves de tomate

#SURCO	NAVE #1 (Diámetro del Tallo mm)	NAVE #2 (Diámetro del Tallo mm)	PROMEDIO
SURCO 1	10	11.3	10.6
SURCO 2	9.25	13.3	11.3
SURCO 3	9	13.3	11.1
SURCO 4	10.25	9.5	9.9
SURCO 5	10.75	9.0	9.9
SURCO 6	13	13.8	13.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Datos promediados de la variable de desarrollo número de hojas de la planta en las dos naves de tomate

Planta	NUMERO DE HOJAS	NUMERO DE HOJAS	PROMEDIO
SURCO 1	111	131.8	121.4
SURCO 2	111.25	150.5	130.9
SURCO 3	109.25	159.3	134.3
SURCO 4	133	114.3	123.6
SURCO 5	130	118.0	124.0
Surco 6	154	175	164.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Datos promediados de la variable de desarrollo ancho de la hoja de la planta en las dos naves de tomate

Planta	ANCHO DE LA HOJA(cm)	ANCHO DE LA HOJA(cm)	PROMEDIO
SURCO 1	4.5	5	4.8
SURCO 2	5	4.75	4.9
SURCO 3	4.75	5	4.9
SURCO 4	4.75	4.75	4.8
SURCO 5	5.25	4	4.6
Surco 6	4.75	5	4.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Datos promediados de la variable de desarrollo largo de la hoja de la planta en las dos naves de tomate

Planta	LARGO DE LA HOJA (cm)	LARGO DE LA HOJA (cm)	PROMEDIO
SURCO 1	10.25	11	10.6
SURCO 2	11	11	11.0
SURCO 3	11.75	12.75	12.3
SURCO 4	12.5	10.75	11.6
SURCO 5	10.5	9.5	10.0
Surco 6	13	13.5	13.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Datos de las variables de desarrollo levantados a los 50 días después de la siembra en el cultivo de tomate

DATOS LEVANTADOS A LOS 50 DDS EN LAS DOS NAVES DE TOMATE					
# PLANTA	ALTURA (CM)	DIAMETRO DE TALLO(CM)	NUMERO DE HOJAS	ANCHO DE LA HOJA(CM)	LARGO DE LA HOJA(CM)
1	142	2.1	520	8	15
14	170	2	649	7	17
42	110	2.5	618	6	14
56	116	2	461	6	15
8	101	2.2	520	7	14
24	126	2.5	535	8	16
46	165	2.1	677	8	18
74	135	2	554	7	16
1	146	2.5	562	7	17
15	112	2	470	7	15
27	161	2.2	520	6	17
38	172	2.5	700	7	18
28	109	2.1	400	7	16
35	178	2	591	7	18
54	169	2.5	643	5	18
67	164	2	487	8	18
23	153	2.2	480	8	14
17	138	2.5	450	7	15
37	166	2.1	670	8	18
59	159	2	620	7	15
33	148	2.5	538	7	16
58	153	2	594	8	19
56	170	2.2	776	8	18
16	180	2.5	737	8	19
7	163	2.1	710	7	16
72	179	2	745	7	17

49	125	2.5	510	8	15
31	128	2	520	8	15
2	144	2.2	574	6	15
45	141	2.5	604	7	15
79	162	2.1	676	8	16
60	167	2	672	7	18
18	157	2.5	545	7	18
43	148	2	480	7	17
61	173	2.2	781	8	17
71	175	2.5	698	7	19
46	129	2.1	412	6	15
18	145	2	590	6	16
64	140	2.5	579	7	17
70	138	2	490	8	15
19	127	2.2	447	7	15
69	125	2.5	510	6	19
64	145	2.1	556	7	16
48	115	2	500	5	13
20	178	2.5	750	7	19
33	167	2	713	8	19
48	165	2.2	700	6	18
65	158	2.5	590	8	18
TOTAL, DE PLANTAS MUESTREAD AS	ALTURA PROME DIO (cm)	DIAMETRO DEL TALLO PROMEDIO (mm)	NUMERO DE HOJAS PROMEDIO	ANCHO DE LA HOJA PROMEDIO(CM)	LARGO DE LA HOJA PROMEDIO (CM)
48	148.7	2.2	585.9	7.1	16.5

Fuente: Elaboración propia

❖ **Variables de desarrollo del cultivo de tomate a los 50 días después de la siembra**

Tabla 29. Datos promediados de la variable de desarrollo altura de la planta en las dos naves de tomate

PLANTA	NAVE 1	NAVE 2	PROMEDIO
	ALTURA (CM)	ALTURA (CM)	
SURCO 1	148.75	162.75	155.8
SURCO 2	153.5	162.75	158.1
SURCO 3	163.25	162.75	163.0
SURCO 4	138	162.75	150.4
SURCO 5	128	162.75	145.4
SURCO 6	167	162.75	164.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Datos promediados de la variable de desarrollo diámetro de la planta en las dos naves de tomate

PLANTA	DIAMETRO DEL TALLO mm	DIAMETRO DEL TALLO mm	PROMEDIO
SURCO 1	2.1	2.1	2.1
SURCO 2	2	2	2.0
SURCO 3	2.5	2.5	2.5
SURCO 4	2	2	2.0
SURCO 5	2.2	2.2	2.2
SURCO 6	2.5	2.5	2.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Datos promediados de la variable de desarrollo número de hojas de la planta en las dos naves de tomate

PLANTA	NUMERO DE HOJAS	NUMERO DE HOJAS	PROMEDIO
SURCO 1	562	621.25	591.6
SURCO 2	571.5	631.5	601.5
SURCO 3	563	626	594.5
SURCO 4	530.25	517.75	524.0
SURCO 5	555	503.25	529.1
SURCO 6	661.25	688.25	674.8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Datos promediados de la variable de desarrollo ancho de la hoja de la planta en las dos naves de tomate

PLANTA	ANCHO DE LA HOJA (cm)	ANCHO DE LA HOJA (cm)	PROMEDIO
SURCO 1	6.75	7.5	7.1
SURCO 2	7.5	7	7.3
SURCO 3	6.75	7.25	7.0
SURCO 4	6.75	6.75	6.8
SURCO 5	7.5	6.25	6.9
SURCO 6	7.75	7.25	7.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Datos promediados de la variable de desarrollo largo de la hoja de la planta en las dos naves de tomate

PLANTA	LARGO DE LA HOJA (CM)	LARGO DE LA HOJA (CM)	PROMEDIO
SURCO 1	15.25	15.75	15.5
SURCO 2	16	16	16.0
SURCO 3	16.75	17.75	17.3
SURCO 4	17.5	15.75	16.6
SURCO 5	15.5	15.75	15.6
SURCO 6	18	18.5	18.3

Fuente: Elaboración propia

❖ **Cultivo de pimiento variables de desarrollo**

Tabla 34. Datos promediados de las variables de desarrollo levantados a los 25 días después de la siembra en el cultivo de pimiento

# PLANTA	ALTURA (CM)	DIAMETRO DE TALLO(MM)	NUMERO DE HOJAS	ANCHO DE LA HOJA(CM)	LARGO DE LA HOJA(CM)
Surco 1	27	4.5	20	9.45	11.5
Surco 2	27	6.5	24	8.3	14
Surco 3	28	6	19.5	8	14
Surco 4	25	7	20	9.45	11.5
Surco 5	22.5	6	20.5	9	12
Surco 6	25	6.5	22	8.65	13
Total de plantas muestreadas	Altura promedio (cm)	Díámetro del tallo promedio (mm)	Numero de hojas promedio	Ancho de la hoja promedio(cm)	Largo de la hoja promedio (cm)
48	25.8	6.1	21.0	8.8	12.7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Datos promediados de las variables de desarrollo levantados a los 50 días después de la siembra en el cultivo de pimiento

# PLANTA	ALTURA (CM)	DIAMETRO DE TALLO(MM)	NUMERO DE HOJAS	ANCHO DE LA HOJA(CM)	LARGO DE LA HOJA(CM)
Surco 1	76	1.3	79	9	20.5
Surco 2	64.5	1.05	59.5	8.65	18
Surco 3	80	1.15	65	9.5	19.5
Surco 4	65	1.05	66	9	21
Surco 5	78.5	1.35	54.5	9.5	19
Surco 6	74	1.25	54.5	9.7	16
TOTAL, DE PLANTAS MUESTREADAS	ALTURA PROMEDIO (cm)	DIAMETRO DEL TALLO PROMEDIO (mm)	NUMERO DE HOJAS PROMEDIO	ANCHO DE LA HOJA PROMEDIO(CM)	LARGO DE LA HOJA PROMEDIO (CM)
48	73.0	1.2	63.1	9.2	19.0

Fuente: Elaboración propia

❖ **Cultivo de pimiento variables de cosecha**

Tabla 36. Promedio de las dos naves de pimiento variable ancho del fruto

Surco 1	4.1	6.4	5.3	4.5	5.9	0.0	6.0	5.9	6.3	5.0
Surco 2	0	10.2	11.9	5.5	6.0	6	6.0	6.0	5.7	6.9
Surco 3	0	7.4	5.9	5.5	5.6	5.0	6.9	5.6	6.3	5.4
Surco 4	4.5	9.5	6.3	7.1	5.7	0.0	5.8	6.0	6.2	5.6
Surco 5	0	0.0	5.9	5.5	5.5	4.5	5.6	5.5	6.3	4.3
Surco 6	0	5.5	5.9	5.9	5.5	5	4.9	5.5	6.1	5.0
Ancho promedio (cm)	5.4									

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37. Promedio de las dos variables de pimiento ancho del fruto

Surco 1	10.75	9.6	10.5	12.0	11.2	0.0	11.6	11.2	13.0	10.04
Surco 2	0	6.2	4.5	9.5	11.3	13.5	12.2	10.8	10.3	8.29
Surco 3	0	10.6	11.7	11.6	12.1	22.5	13.0	12.1	11.6	11.70
Surco 4	11.5	10.2	11.0	13.5	12.0	0.0	11.8	12.0	12.6	10.28
Surco 5	0	0.0	11.5	15.0	11.3	12	12.5	11.3	10.9	9.31
Surco 6	0	10.8	11.6	13.5	10.4	15	11.1	10.4	8.3	9.95
Largo promedio (cm)	9.93									

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Promedio de las dos naves de Pimiento peso del fruto (gr)

Surco 1	108.75	77.4	79.1	81.6	84.0	0.0	101.4	84.0	114.7	81.00
Surco 2	0	92.9	93.1	87.9	86.4	101.6	77.8	86.4	73.5	79.26
Surco 3	0	94.2	89.5	79.3	85.6	115.2	114.4	85.6	96.8	85.00
Surco 4	74.8	128.9	85.2	117.8	88.3	0.0	87.4	88.3	93.1	82.76
Surco 5	0	0.0	98.7	111.8	81.8	80.6	101.6	81.8	81.0	71.12
Surco 6	0	84.8	83.0	100.3	79.2	88.6	81.0	79.9	89.1	76.88
Peso promedio (gr)	79.34									

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39. Numero de cortes detallados

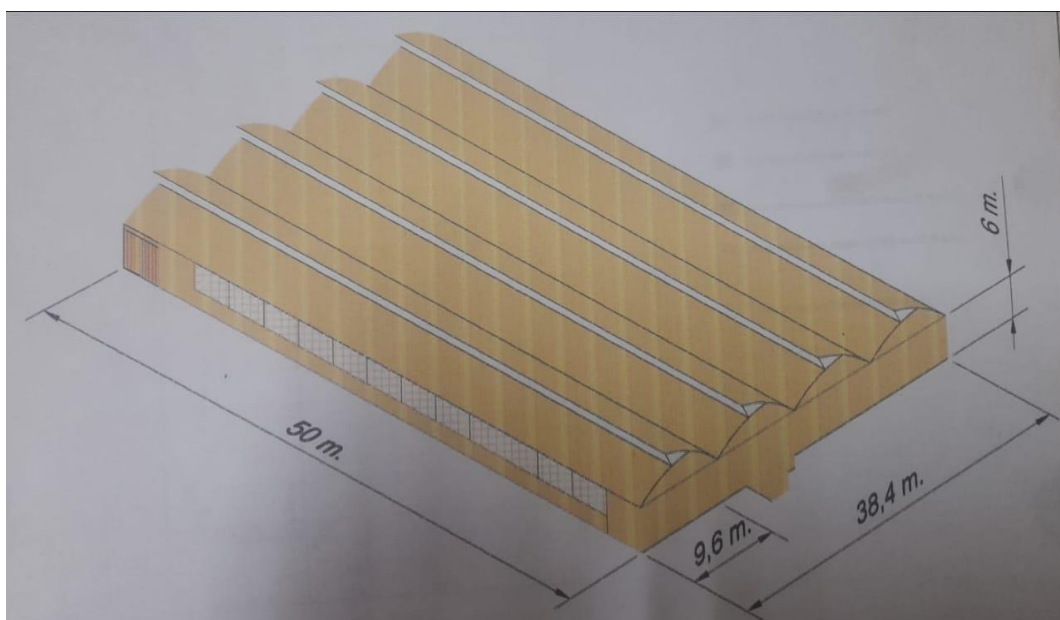
# PLA NTA S	5/1 1/2 023	11/1 1/20 23	16/1 1/20 23	28/1 1/20 23	7/1 2/2 023	13/1 2/20 23	19/1 2/20 23	27/1 2/20 23	4/1 1/20 24	10/ 1/2 024	16/ 1/2 024	23/ 1/2 024	29/ 1/2 024	5/2 1/20 24	10/ 2/2 024	19/ 2/2 024
1	3	5	3	3	1	5	4	1	0	2	0	7	2	2	0	2
14	7	2	3	5	1	1	1	1	0	3	5	0	0	0	5	6
42	6	0	5	6	1	2	2	3	2	2	6	1	0	2	0	2
56	7	1	2	5	0	2	0	2	0	2	8	3	2	3	2	1
8	7	0	2	6	1	2	2	2	2	0	1	3	2	3	4	3
24	6	0	2	6	3	2	3	0	1	3	4	2	2	3	1	2
46	1	5	0	1	4	2	3	3	2	2	2	1	4	4	0	6
74	4	0	2	4	2	2	3	4	0	3	2	0	3	4	5	2
1	3	0	2	3	0	0	0	3	2	5	0	1	4	9	5	3
15	5	0	7	5	3	2	0	1	0	4	2	3	2	0	2	4
27	4	0	2	4	4	0	4	0	3	6	2	1	4	4	1	1
38	4	0	3	4	0	2	3	0	2	1	2	2	4	2	6	5
28	3	0	2	3	1	1	4	3	4	4	2	0	6	1	2	4
35	3	1	1	2	2	5	2	0	1	3	2	3	3	3	7	2
54	2	0	0	2	0	4	4	9	2	0	0	4	5	0	2	6
67	4	1	5	4	2	1	2	0	0	5	2	0	3	2	4	5
23	3	0	0	3	4	2	6	4	2	0	1	1	5	2	2	5
17	4	0	0	4	0	0	5	0	3	0	0	2	7	6	3	6
37	5	3	0	3	0	2	5	6	7	0	1	0	4	0	2	2
59	4	0	0	4	1	3	6	2	6	1	2	0	4	2	1	4
33	2	3	1	2	2	3	4	0	5	0	0	2	5	5	2	4
58	6	0	2	6	2	3	4	0	6	1	0	2	1	1	0	6
56	3	0	0	3	1	1	5	3	6	4	2	2	3	0	2	5
16	5	0	0	5	0	1	6	0	4	3	4	0	3	2	4	3
7	3	0	2	3	0	5	5	1	2	2	3	2	5	2	1	4
72	5	7	2	5	0	2	0	6	0	0	1	1	4	2	3	2
49	7	0	2	4	4	4	3	0	2	1	0	3	6	2	1	1
31	4	0	0	1	2	3	4	6	1	5	3	2	1	2	2	4
2	4	0	2	2	6	4	2	4	3	1	2	3	2	0	3	2
45	5	6	0	0	5	0	0	1	6	2	2	1	4	1	4	3
79	5	0	2	2	5	0	0	4	2	2	2	2	4	2	2	6
60	7	0	1	3	0	0	1	3	0	2	2	6	3	0	7	5
18	6	0	2	3	4	0	0	4	6	0	0	5	5	2	0	3
43	2	1	0	3	4	0	1	0	0	2	2	5	7	3	4	6
61	4	0	2	0	5	3	5	2	2	3	2	6	3	1	2	0
83	2	1	0	0	6	5	2	2	4	7	5	1	1	2	0	2

46	7	0	3	0	5	4	2	4	0	2	0	6	0	2	4	1
18	7	0	2	7	4	0	3	5	4	0	0	5	1	2	0	0
64	4	0	0	4	5	0	7	5	0	2	2	1	2	2	4	2
32	3	0	1	2	2	0	6	7	0	1	3	4	1	5	2	3
19	6	0	2	6	4	0	5	4	0	2	3	0	2	5	0	1
77	5	1	0	5	0	3	5	2	1	0	3	4	3	6	0	2
64	5	0	2	5	0	2	6	1	0	2	4	3	3	4	1	2
48	6	0	3	4	0	2	4	3	2	1	3	1	3	4	2	2
20	4	0	3	4	0	0	1	0	2	3	2	6	1	5	3	6
53	4	0	3	4	0	0	4	2	2	3	2	6	0	6	3	1
72	5	2	2	5	0	2	3	4	0	3	5	1		5	1	2
76	6	1	0	6	0	7	5	3	2	0	0	4	2	0	2	2
TOT AL	217	40	80	171	96	94	152	120	10 1	100	101	118	141	12 5	113	151
PLANTAS MUESTREADAS TOTAL				FRUTOS TOTALES EN LOS 16 CORTES					1920							
48				NUMERO DE FRUTO POR PLANTA					40							

Fuente: Elaboración propia

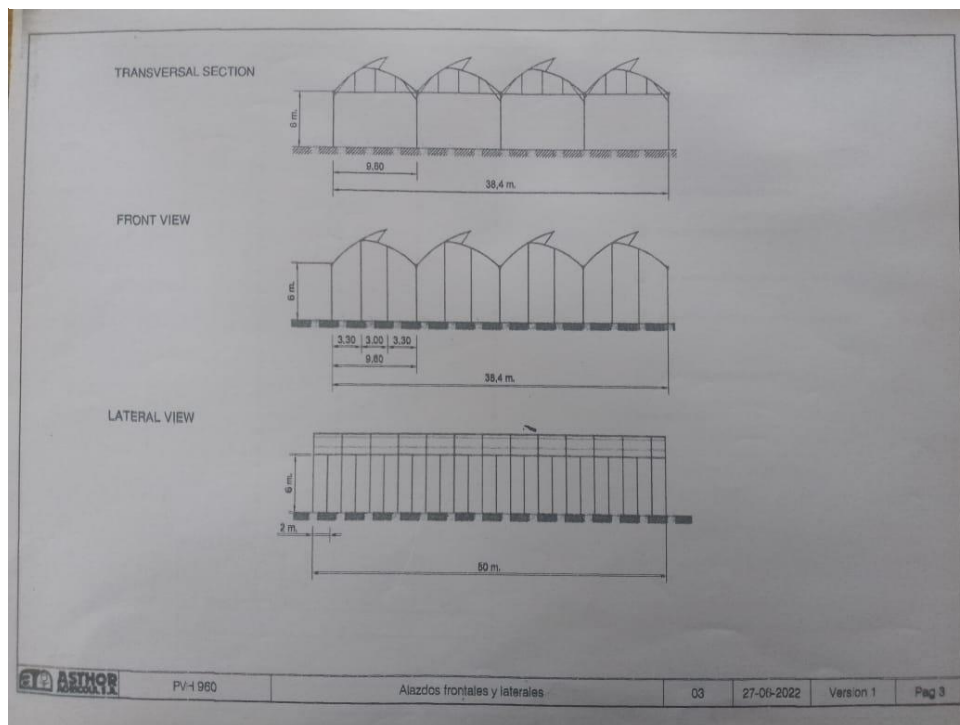
XIII. ANEXO DE FIGURAS

Figura 87. Plano de vista general de las instalaciones del invernadero automatizado FAE-UNI



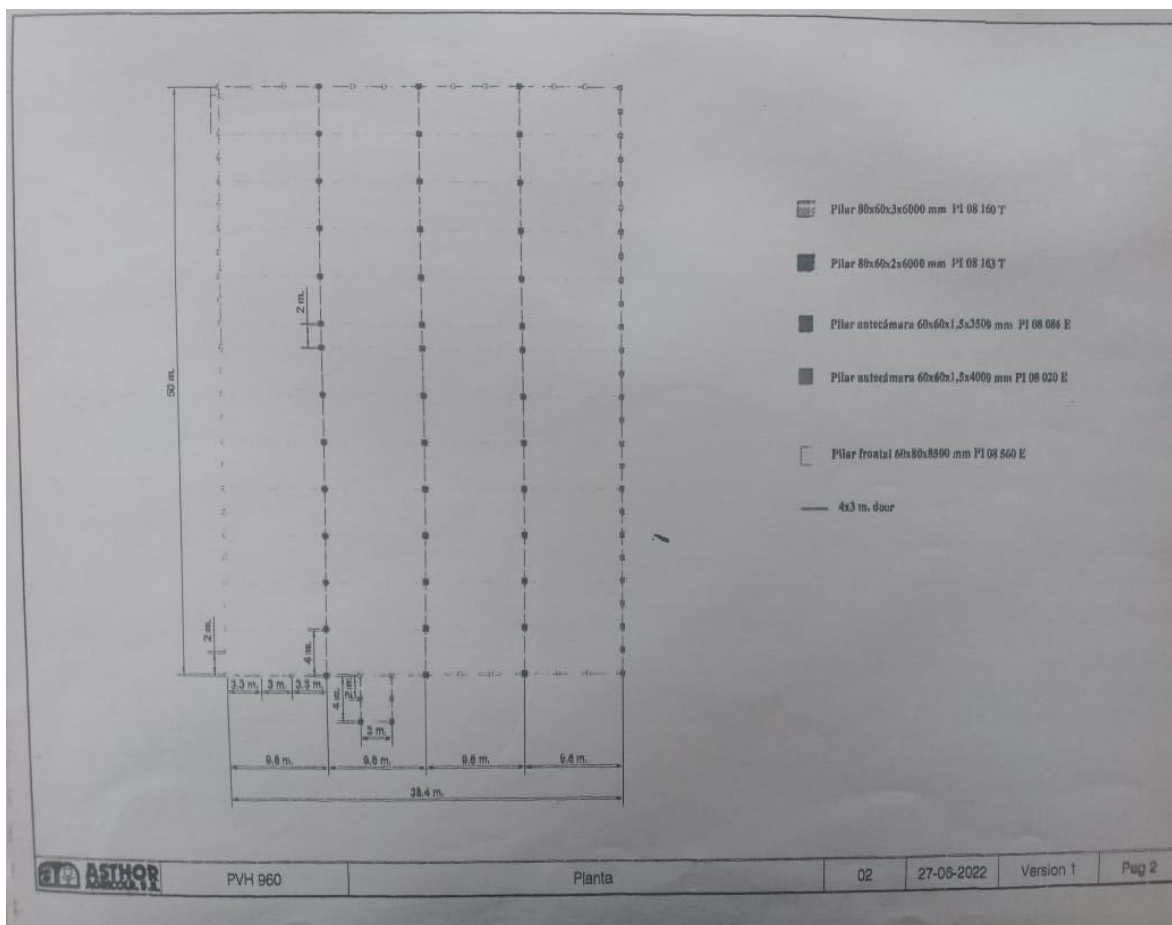
Fuente: ASTHOR AGRICOLA. S.A

Figura 88. Plano frontales y laterales generales de las instalaciones del invernadero automatizado FAE-UNI



Fuente: ASTHOR AGRICOLA. S.A

Figura 89. Vista de planta de las instalaciones del invernadero automatizado FAE-UNI



Fuente: ASTHOR AGRICOLA. S.A

Figura 91. Realización de labores culturales



Fuente: Propia

Figura 90. Realización de labores culturales



Fuente: Propia

Figura 92. Instalación del sistema de riego de doble cinta



Fuente: Propia

Figura 93. Instalación del plástico much



Fuente: Propia

Figura 97. Registro de la variable edafoclimática



Fuente: Propia

Figura 95. Registro de la variable edafoclimática humedad relativa



Fuente: Propia

Figura 96 . Registro de las variables edafoclimáticas



Fuente: Propia

Figura 94. Frente del invernadero automatizado



Fuente: Propia

Figura 98. Trasplante de plántulas



Fuente: Propia

Figura 99. Plantación de tomate con la ayuda de tutores



Fuente: Propia

Figura 100. Levantamiento de datos a los 25 días después de la siembra



Fuente: Propia

Figura 101. Floración de las plantas de tomate



Figura 104. Levantamiento de datos



Fuente: Propia

Figura 105. Medición de la altura de la planta



Fuente: Propia

Figura 103. Medición del largo del fruto



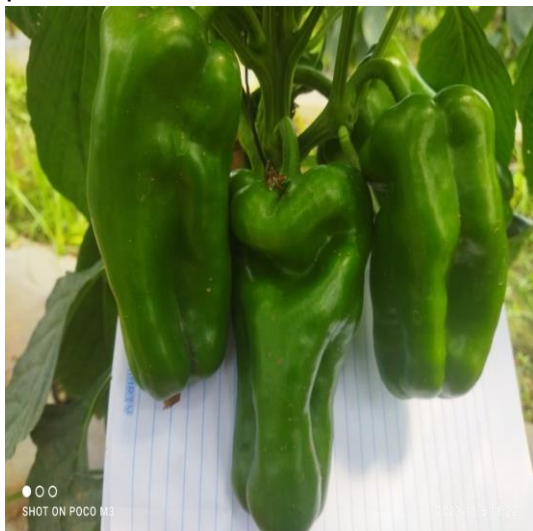
Fuente: Propia

Figura 102. Planta en estado de cosecha



Fuente: Propia

Figura 109. Frutos maduros listos para ser cosechados



Fuente: Propia

Figura 107. Acopio de la primera cosecha



Fuente: Propia

Figura 108. Registro del peso del fruto



Fuente: Propia

Figura 106. Frutos listos para ser trasladados al acopio



Fuente: Propia

Figura 110. Ficha técnica de las variables descriptoras del Tomate Pachuca F1



PACHUCA F1
TOMATE



Tomate de planta semi determinada, vigorosa, con buena cobertura de follaje, crece bien en condiciones de estrés hídrico, planta muy productiva, produce frutos tipo oval, grandes (140-150g) muy uniformes, lisos y excelente firmeza y con buena maduración. Resistencia intermedia a TYLCV.

Ciclo :	92 días
Tipo :	Semi-determinado
Tamaño :	Grande
Método de Crecimiento :	Libre sin podas
Temporada de siembra :	Todo el año
Rendimiento :	80 a 100 toneladas por hectárea
Vigor :	Medio
Número recomendado de plantas por hectárea :	5,000 a 10,000
Plantas por metro lineal :	1 a 2
Forma :	Oval
Color externo :	Rojo
Cosecha :	Todo el año
Tipo de planta :	Semi-Determinada
Firmness Fruit GT :	Alta
Frutos por racimo :	5 a 8
Hábito de crecimiento :	Campo abierto
Vida de anaquel :	Muy buena
Peso por fruto :	130 a 160 gramos
Thickness Wall GT :	Gruesa
Brightness GT :	Alto
Distancia de entrenudos :	Intermedia
Thickness Skin GT :	Gruesa
Cantidad de frutos por planta :	60 a 80
Lóculos :	3



This information has been compiled with care. The data is from our own trials and commercial practice and is to be used for guidance only; it must be interpreted at one's own discretion. No rights can be derived from the information given. Generated on 17-07-2024.

Fuente: (Empresa bejo)

Figura 111. Ficha técnica de las variables descriptoras del Pimiento Caudillo F1

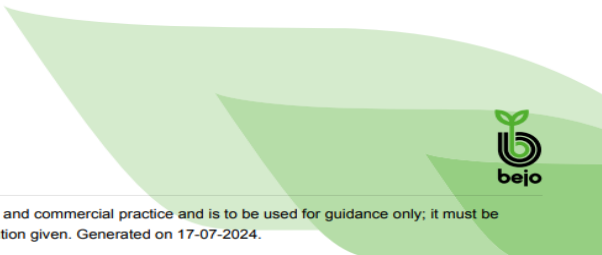


CAUDILLO F1
PIMIENTO



Plantas muy vigorosas y sanas, con excelente productividad y calidad. Posee frutos grandes, rectangulares cónicos de color verde oscuro con paredes muy gruesas y 275 gramos de peso promedio, con alto rendimiento para el llenado de cajas. Maduración de verde a rojo.

Ciclo :	80 a 120 días
Días de crecimiento para la primer cosecha :	70 a 75 días
Tipo :	Lamuyo
Tamaño :	Grande
Método de Crecimiento :	Libre y con podas
Temporada de siembra :	Todo el año
Rendimiento :	75 a 85 toneladas por hectárea
Vigor :	Muy alto
Número recomendado de plantas por hectárea :	20,000 a 25,000
Plantas por metro lineal :	2 a 3
Longitud :	15 a 18 centímetros
Forma :	Rectangular Conica
Cosecha :	Todo el año
Tipo de planta :	Semi-Determinada
Hábito de crecimiento :	Campo abierto y bajo cobertura
Peso por fruto :	250 a 280 gramos
Thickness Wall GT :	5 a 7 milímetros
Ancho :	5 a 7 centímetros
Distancia de entrenudos :	Corta
Thickness Skin GT :	Gruesa
Lóculos :	3 a 4



This information has been compiled with care. The data is from our own trials and commercial practice and is to be used for guidance only; it must be interpreted at ones' own discretion. No rights can be derived from the information given. Generated on 17-07-2024.

Fuente: (Empresa bejo)