



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
EXTENSIÓN EN EL CARMEN
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

Creada Ley No 10 – Registro Oficial 313 de Noviembre 13 de 1985



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROPECUARIO**

**Crecimiento y desarrollo de hortalizas en sistema de macrotúnel de sarán al
35% de sombra**

AUTORA: Brigitte Antonela Vega Reyna

TUTORA: Ing. Myriam Elizabeth Zambrano Mendoza, Mg.

El Carmen, diciembre del 2025

	NOMBRE DEL DOCUMENTO:	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	CERTIFICADO DE TUTOR(A)	
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Extensión El Carmen de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante '**BRIGITTE ANTONELA VEGA REYNA**', Cl. 1727109389 legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, periodo académico 2025 (2), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **“Crecimiento y desarrollo de hortalizas en sistema de macrotúnel de sarán al 35% de sombra”**

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

El Carmen, 29 de enero del 2026



Ing, Myriam Elizabeth Zambrano Mendoza MSc.

Docente Tutor

Área: Agricultura, Silvicultura, Pesca y Veterinaria

**UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABÍ
EXTENSIÓN EN EL CARMEN**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TÍTULO:

**Crecimiento y desarrollo de hortalizas en sistema de macrotúnel de sarán al
35% de sombra**

AUTORA: Brigitte Antonela Vega Reyna

TUTOR: Ing. Myriam Elizabeth Zambrano Mendoza, Mg.

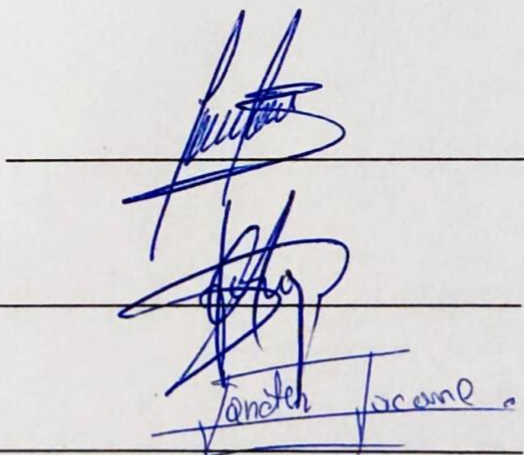
**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROPECUARIO**

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

Ing. Marco De La Cruz, Mg.

Ing. Jorge Vivas Cedeño, Mg.

Ing. Janeth Jacome Gómez, PhD.





DECLARACIÓN DE AUTORIA

La responsabilidad de este proyecto de Titulación: **“Crecimiento y desarrollo de hortalizas en sistema de macrotúnel de sarán al 35% de sombra”** corresponde exclusivamente a **Brigitte Antonela Vega Reyna** con C.I 1727109389 y los derechos patrimoniales del mismo a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

El Carmen – Manabí

Autora

Antonela Vega
Brigitte Antonela Vega Reyna
C.I 1727109389

DEDICATORIA

"La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo."

— *Nelson Mandela*

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por haberme otorgado los conocimientos, la sabiduría y la perseverancia necesarias para alcanzar esta meta. Su presencia ha sido mi guía constante y mi refugio en los momentos de duda.

A mí misma, por nunca rendirme, por confiar en mis capacidades y por demostrarme que con determinación y fe es posible lograr cada uno de los sueños que habitan en el corazón.

A mis padres, con amor y profundo respeto, por dejarme la mejor herencia: el amor por el campo, por la tierra y por los estudios. Gracias a sus enseñanzas y valores, hoy cristализo mi anhelo de convertirme en Ingeniera Agropecuaria.

Brigitte Antonela Vega Reyna

AGRADECIMIENTO

“Educar no es llenar la mente de contenido, sino despertar la conciencia para transformar realidades.”— *Mariela Zambrano V.*

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, le entrego mi más profunda gratitud por permitirme culminar esta etapa con determinación, paciencia y propósito. Sin su guía, nada de esto habría sido posible.

A mi madre Eine Reyna, por ser el pilar constante que me impulsa con su ejemplo y amor incondicional. A mi padre Wilverto Vega, quien partió de este mundo, pero continúa acompañándome desde el cielo con su luz y recuerdo imborrable. Su ausencia física jamás ha disminuido su presencia en mi corazón.

A mis dos hermanas, Karen Vega por su cariño, comprensión y palabras oportunas en los momentos más desafiantes, a mi hermana la menor Jarely Vega quien me saca una sonrisa siempre que estamos juntas, ellas son mi fortaleza y mis ganas de seguir hacia delante. A mi esposo, Danny Rosado por su apoyo firme y su fe en mí durante cada paso del camino. Y a mi cuñada, Berly Rosado por su solidaridad generosa, que se ha hecho presente cuando más la he necesitado.

Brigitte Antonela Vega Reyna

ÍNDICE

TRIBUNAL DE TITULACIÓN	III
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	IV
DEDICATORIA.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE ANEXO	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN.....	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
JUSTIFICACIÓN.....	16
OBJETIVOS.....	17
Hipótesis	17
Hipótesis nula (H_0)	17
CAPITULO I.....	18
1. METODOLOGÍA	18
1.1 Localización de la unidad experimental	18
1.2 Caracterización meteorológica de la zona	18

1.3	Métodos	19
1.3.1	Método empírico	19
1.3.2	Método experimental.....	19
1.3.3	Método bibliográfico	19
1.3.4	Método observacional	19
1.4	Fuentes de recopilación de la información	20
1.4.1	Fuentes primarias	20
1.4.2	Fuentes secundarias.....	20
1.5	Diseño de la Investigación.....	20
1.5.1	Materiales	21
1.5.2	Descripción de los tratamientos	21
1.6	Instrumentos de investigación	21
1.6.1	Procedimiento experimental.....	¡Error! Marcador no definido.
1.6.2	Medición de variables	22
1.6.3	Variables de interés	24
1.7	Análisis estadístico	24
1.8	Recursos humanos y materiales.....	24
1.8.1	Recursos humanos.....	24
1.8.2	Material vegetal.....	25
1.8.3	Componentes de los sustratos	25
1.8.4	Herramientas y equipos complementarios	25

CAPÍTULO II	26
2. MARCO TEÓRICO	26
2.1 Agricultura	26
2.2 Agricultura protegida	26
2.3 Tipos de estructuras de agricultura protegida	26
2.3.1 Acolchados	26
2.3.2 Microtúneles	26
2.3.3 Macrotúneles	27
2.3.4 Casa sombra	28
2.4 Influencia de la sombra en el desarrollo de los cultivos	29
2.5 Efecto sobre la radiación y la fotosíntesis	29
2.5.1 Regulación térmica del ambiente	29
2.5.2 Incremento de la humedad relativa	30
2.5.3 Protección frente a factores abióticos y bióticos	30
2.5.4 Mejora en la calidad del producto	30
2.6 Descripción técnica y características destacadas del pepino	30
CAPITULO III	33
3.1 DESARROLLO DE LA PROPUESTA	33
3.2 Diseño y selección de tecnologías a implementar	34
3.3 Plan de implementación	37
3.4 Resultados y discusión	38

3.4.1	Altura (cm)	38
3.4.2	Diámetro del tallo (mm)	40
3.4.3	Número de hojas	41
3.4.4	Número de flores	42
3.4.5	Días a la floración	43
3.4.6	Peso (g), longitud de fruto (cm) y Diámetro (cm)	44
CAPÍTULO IV		46
CONCLUSIONES		46
RECOMENDACIONES		47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		XXXV
ANEXOS		XXXV

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Características meteorológicas de la localidad</i>	18
Tabla 2. <i>Esquema de ADEVA con un diseño completamente con 4 repeticiones</i>	20
Tabla 3. <i>Tratamiento de estudio</i>	21
Tabla 4. <i>Información nutrimental del pepino (por 100 g de porción comestible</i>	31
Tabla 5. <i>Desglose de gastos de implementación del macrotúnel</i>	34
Tabla 6. <i>Número de flores del cultivo de pepino (Cucumis sativus L.) a los 30, 45 y 60 días de evaluación bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra</i>	43
Tabla 7. <i>Días a la floración del cultivo de pepino (Cucumis sativus L.) bajo macrotúnel y en campo abierto, en las variedades Marketmore y Jaguar</i>	44
Tabla 8. <i>Características físicas del fruto de pepino (Cucumis sativus L.): peso promedio, longitud y diámetro, bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra y en campo abierto, en las variedades Marketmore y Jaguar</i>	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio	18
Figura 2. Microtúnel para producción de plántulas de hortalizas.....	27
Figura 3. Macrotúneles con cubierta plástica Invernaderos con cubierta plástica y malla sombra en la parte superior	28
Figura 4. Casa sombra con producción de plantas ornamentales y forestales.....	29
Figura 5. Crecimiento y desarrollo inicial del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo sistema de macrotúnel con cubierta de sarán al 35 % de sombra.....	35
Figura 6. <i>Establecimiento y desarrollo inicial del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo macrotúnel con cubierta de sarán al 35 % de sombra.....</i>	35
Figura 7. <i>Croquis técnico del sistema de riego por goteo implementado en el macrotúnel de plástico para el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.).....</i>	36
Figura 8. Altura de planta del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) a los 15, 30, 45 y 60 días de evaluación bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra y en campo abierto, en las variedades Marketmore y Jaguar.....	39
Figura 9. <i>Diámetro del tallo del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) a los 15, 30, 45 y 60 días de evaluación bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra y en campo abierto, en las variedades Marketmore y Jaguar</i>	40
Figura 10. <i>Número de hojas del cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) a los 15, 30, 45 y 60 días de evaluación bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra y en campo abierto, en las variedades Marketmore y Jaguar.....</i>	42

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. <i>Preparación del terreno y perforación para la instalación de postes del sistema de soporte</i>	XXXV
Anexo 2. <i>Desarrollo inicial de las plantas de pepino bajo sistema protegido con riego por goteo</i>	XXXV
Anexo 3. <i>Formación de flores</i>	XXXVI
Anexo 4. <i>Formación de frutos en plantas de pepino durante la fase reproductiva</i>	XXXVI
Anexo 5. <i>Registro del peso individual de fruto de pepino durante la fase de cosecha</i> .	XXXVII

RESUMEN

La investigación titulada Crecimiento y desarrollo de hortalizas en sistema de macrotúnel con 35 % de sombra se desarrolló durante el mes de septiembre en la época de verano, con una duración de tres meses consecutivos. El experimento se condujo bajo un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos: T1 (Marketmore bajo macrotúnel), T2 (Jaguar bajo macrotúnel), T3 (Marketmore en campo abierto) y T4 (Jaguar en campo abierto). En la variable altura de planta, el tratamiento que presentó las medias más altas en todas las evaluaciones fue T4, con valores de 60 cm a los 15 días, 139 cm a los 30 días, 178 cm a los 45 días y 196 cm a los 60 días. Para el diámetro del tallo, el mayor valor se registró en T3, alcanzando 6,16 mm a los 15 días, 6,74 mm a los 30 días, 7,20 mm a los 45 días y 7,90 mm a los 60 días. En cuanto al número de hojas, las mayores medias en las etapas intermedias y finales correspondieron a T1, con 23,69 hojas a los 45 días y 22,19 hojas a los 60 días. El número de flores fue superior en campo abierto, destacándose T3 con 22,53 flores a los 45 días. La menor cantidad de días a floración se registró en T4, con 32,38 días. En rendimiento, el mayor peso del fruto se obtuvo en T3, con 478,72 g, mientras que la mayor longitud del fruto se observó en T2, con 24,99 cm. Se concluyó que el campo abierto favoreció la precocidad y el peso del fruto, mientras que el macrotúnel promovió estabilidad vegetativa y mayor longitud.

Palabras clave: Pepino, sombreado, crecimiento, rendimiento

ABSTRACT

The research entitled Growth and Development of Vegetables under a Macrotunnel System with 35% Shade Netting was conducted during the month of September in the summer over a three-month period. The experiment was established under a completely randomized design with four treatments: T1 (Marketmore under macrotunnel), T2 (Jaguar under macrotunnel), T3 (Marketmore in open field), and T4 (Jaguar in open field). Regarding plant height, treatment T4 showed the highest mean values at all evaluation periods, reaching 60 cm at 15 days, 139 cm at 30 days, 178 cm at 45 days, and 196 cm at 60 days. For stem diameter, the greatest values were recorded in T3, with 6.16 mm at 15 days, 6.74 mm at 30 days, 7.20 mm at 45 days, and 7.90 mm at 60 days. Concerning the number of leaves, the highest averages during intermediate and final stages were observed in T1, with 23.69 leaves at 45 days and 22.19 leaves at 60 days. Flower production was higher under open field conditions, with T3 standing out with 22.53 flowers at 45 days. The shortest time to flowering was recorded in T4, with 32.38 days. In terms of yield, the highest fruit weight was obtained in T3, reaching 478.72 g, while the greatest fruit length was observed in T2, with 24.99 cm. It was concluded that open field conditions favored earliness and fruit weight, whereas the macrotunnel system promoted vegetative stability and greater fruit length.

Keywords: Cucumber, shading, growth, yield

INTRODUCCIÓN

La agricultura protegida constituye una alternativa estratégica ante los retos que impone la producción agrícola a cielo abierto, especialmente en regiones donde la variabilidad climática y la limitada disponibilidad de recursos comprometen la estabilidad y calidad de los cultivos (Fallas-Campos, 2020). Este sistema comprende métodos productivos que se desarrollan en estructuras cerradas o semicerradas, diseñadas para modificar artificialmente las condiciones microclimáticas mediante coberturas que filtran o regulan la radiación solar, temperatura, humedad y viento (Flore-Velazquez et al., 2019).

Dentro de estas estructuras destacan los microtúneles, macrotúneles, invernaderos y, particularmente, las casas de sombra, por su adaptabilidad y bajo costo de implementación (Islam et al., 2023). La casa de sombra es una estructura temporal conformada por mallas de polietileno o polipropileno que, según el tipo de tejido y densidad de los filamentos, permite definir el porcentaje de sombreado (Wahlang & Joseph, 2024).

Esta cobertura posibilita la atenuación de la radiación solar directa, la reducción del estrés térmico en las plantas y la moderación de las fluctuaciones diurnas en temperatura y humedad relativa, aspectos clave para el desarrollo fisiológico de muchas especies hortícolas (Chouhan et al., 2018; Nangare et al., 2015). Además de modificar el entorno lumínico, las mallas sombra ejercen un impacto directo sobre la calidad y cantidad de luz disponible para la fotosíntesis, lo cual influye en la morfología, tasa de crecimiento y productividad de los cultivos (Banoo et al., 2024; Wahlang & Joseph, 2024).

Al mismo tiempo, estas estructuras brindan protección parcial frente a agentes bióticos y abióticos, como vientos intensos, lluvias torrenciales y ciertos insectos vectores de enfermedades (Quamruzzaman et al., 2021). Aunque no prolongan de manera significativa los ciclos productivos como lo hacen los invernaderos, las casas de sombra mejoran notablemente la eficiencia en el uso de insumos agrícolas y permiten establecer sistemas de policultivo o rotación en un mismo espacio (Chouhan et al., 2018).

En un contexto de creciente incertidumbre climática y presión sobre los sistemas alimentarios locales, la agricultura protegida cobra mayor relevancia como herramienta para garantizar la sostenibilidad productiva, especialmente en zonas tropicales y subtropicales (Banoo et al., 2024). La implementación de tecnologías accesibles como las casas de sombra permite a pequeños y medianos productores diversificar su oferta, reducir riesgos y asegurar un

abastecimiento más constante de hortalizas frescas para los mercados locales (Flore-Velazquez et al., 2019).

En concordancia con esta iniciativa, el presente estudio tuvo como propósito principal evaluar el rendimiento agroproductivo de una casa de sombra destinada a la producción hortícola en condiciones agroecológicas propias del cantón El Carmen, provincia de Manabí. El ensayo se desarrolló en el área de Horticultura de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ubicada en la Granja Experimental Río Suma.

Esta investigación busca generar evidencia técnica que permita optimizar el uso de casas de sombra como herramienta de agricultura protegida, promoviendo su adopción en otros territorios con limitaciones climáticas y productivas similares, y contribuyendo al fortalecimiento de la sostenibilidad agrícola y la seguridad alimentaria local.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En regiones tropicales como el cantón El Carmen, provincia de Manabí, las condiciones climáticas adversas particularmente la elevada radiación solar, las temperaturas extremas y la variabilidad de precipitaciones limitan el crecimiento óptimo y la productividad de las hortalizas a campo abierto. Estas condiciones, sumadas a la escasa tecnificación agrícola, generan un bajo aprovechamiento de los recursos disponibles, afectando negativamente la estabilidad de los sistemas productivos locales (Adame et al., 2021; Carabalí et al., 2019).

Ante esta problemática, las estructuras de agricultura protegida, como los macrotúneles cubiertos con mallas de sombra (sarán), emergen como alternativas viables para mejorar el microclima en el que se desarrollan los cultivos (Velásquez et al., 2014). En particular, el uso de sarán con 35 % de sombreo puede reducir el estrés abiótico, regular la temperatura y disminuir la intensidad lumínica, creando un ambiente más favorable para el desarrollo fisiológico de las hortalizas. No obstante, en la zona de estudio, persiste un vacío de información técnica respecto al desempeño real de este tipo de estructuras y su impacto sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos hortícolas.

Por tanto, se hace necesario investigar si el uso de un macrotúnel con cobertura de sarán al 35 % de sombra incide significativamente en las variables de crecimiento y productividad de las hortalizas cultivadas bajo condiciones agroecológicas locales.

Pregunta de investigación:

¿Qué efecto tiene el uso de un sistema de macrotúnel con cobertura de sarán al 35 % de sombra sobre el crecimiento y desarrollo de hortalizas en condiciones agroecológicas del cantón El Carmen, provincia de Manabí?

JUSTIFICACIÓN

La producción hortícola en zonas tropicales enfrenta serias limitaciones derivadas de factores climáticos adversos, como la alta radiación solar, temperaturas extremas y variabilidad hídrica, que afectan el desarrollo fisiológico de las plantas y reducen el rendimiento de los cultivos. En el cantón El Carmen, provincia de Manabí, estas condiciones se ven agravadas por la limitada implementación de tecnologías de agricultura protegida, lo que genera una baja eficiencia en los sistemas productivos locales (Bojacá et al., 2012; Padilla-Bernal et al., 2012).

Dentro de las estrategias de adaptación más efectivas destaca el uso de macrotúneles cubiertos con malla sombra (sarán), especialmente con un porcentaje de sombreo del 35 %, los cuales permiten modificar el microclima, disminuyendo la radiación directa, estabilizando la temperatura y conservando la humedad del suelo (Regaber, 2024). Estas mejoras microambientales resultan clave para potenciar el crecimiento, desarrollo y productividad de hortalizas como el pepino (*Cucumis sativus* L.), especie particularmente sensible al estrés térmico y lumínico excesivo (Velásquez et al., 2014).

El pepino es un cultivo de alto valor comercial y nutricional, que responde favorablemente a condiciones moderadas de luz, por lo que el manejo bajo sombra controlada promueve una mayor formación de frutos, mejora su calidad externa e interna, y alarga el periodo productivo (IISD, 2017). Sin embargo, en la región objeto de estudio no se dispone de investigaciones locales que midan el comportamiento agronómico del pepino en estas condiciones protegidas, lo que limita el desarrollo de paquetes tecnológicos adaptados al entorno (García, 2012).

En este sentido, el presente estudio se justifica en la necesidad de generar evidencia técnica que permita evaluar el desempeño del pepino y otras hortalizas bajo macrotúneles con sarán al 35 % de sombra, contribuyendo con ello al fortalecimiento de la producción hortícola sostenible, al uso eficiente de recursos y al mejoramiento de la seguridad alimentaria en sistemas agrícolas de pequeña y mediana escala (Flores, 2023).

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar el efecto del macrotúnel con malla sarán al 35 % de sombra sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus L.*) en condiciones del cantón El Carmen, Manabí.

Objetivos específicos

- Evaluar las variables morfológicas y fisiológicas del pepino cultivado bajo condiciones de sombra parcial.
- Determinar el impacto del macrotúnel sobre el rendimiento, número y calidad comercial de los frutos obtenidos.
- Analizar las condiciones microclimáticas internas del sistema protegido y su relación con los parámetros productivos del cultivo.

Hipótesis

Hipótesis nula (H_0)

El sistema de cultivo (macrotúnel con sarán al 35 % de sombra y campo abierto) no generó diferencias significativas en las variables morfológicas, reproductivas y productivas del cultivo de pepino (*Cucumis sativus L.*)

Hipótesis alternativa (H_1)

El sistema de cultivo (macrotúnel con sarán al 35 % de sombra y campo abierto) sí generó diferencias significativas en las variables morfológicas, reproductivas y productivas del cultivo de pepino (*Cucumis sativus L.*),

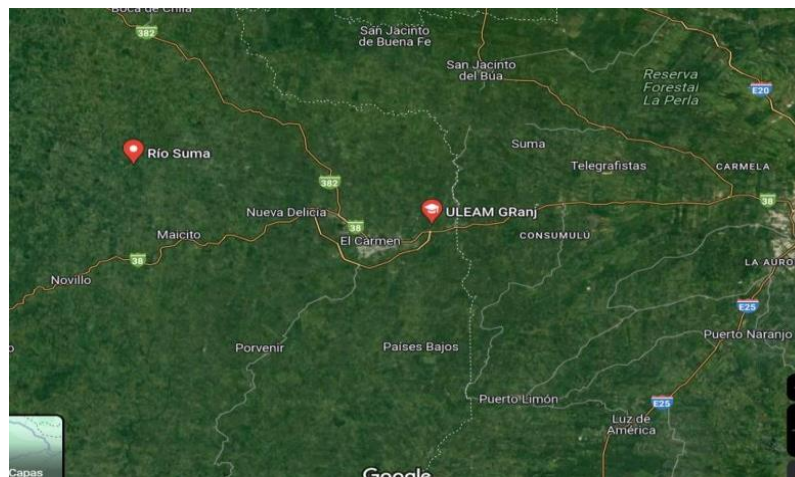
CAPITULO I

1. METODOLOGÍA

1.1 Localización de la unidad experimental

La presente investigación se ejecutó en las instalaciones de la Granja Experimental Río Suma, perteneciente a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, extensión El Carmen, ubicada en la provincia de Manabí, cantón El Carmen, parroquia Wilfrido Loor Moreira. Esta unidad académica y productiva se localiza en las coordenadas geográficas 0°57'30" S y 79°26'00" O, a una altitud promedio de 130 msnm, con un clima tropical monzónico (Am) y una temperatura media anual de aproximadamente 25–27 °C. El área hortícola donde se ejecutó el estudio está destinada a actividades prácticas de docencia, ensayos experimentales y producción agroecológica.

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio



Fuente: Google Maps (2025).

1.2 Caracterización meteorológica de la zona

A continuación, algunas características agroclimáticas del cantón:

Tabla 1. Características meteorológicas de la localidad

Características	El Carmen
Clima	Trópico Húmedo
Temperatura (°C)	24
Humedad Relativa (%)	86%
Heliofanía (Horas luz año ⁻¹)	1026,2
Precipitación media anual (mm)	2659
Altitud (msnm)	130

Nota: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2022)

1.3 Métodos

1.3.1 Método empírico

Se aplicó el método empírico para obtener información basada en la experiencia directa y en la observación sistemática del comportamiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) durante su fase de crecimiento vegetativo (Arias & Covinos-Gallardo, 2021). Este enfoque permitió registrar fenómenos asociados al desarrollo morfológico en condiciones de ambiente protegido con macrotúnel y malla sombra al 35 %, considerando variables como la temperatura interna, humedad relativa y condiciones lumínicas. La interacción práctica con el sistema facilitó la identificación de patrones reales en el desarrollo fisiológico del cultivo (Hidalgo, 2005).

1.3.2 Método experimental

El estudio adoptó un enfoque experimental, basado en el diseño y aplicación de tratamientos con sombra parcial (35 %) generada por malla sarán instalada en un macrotúnel. Se manipularon variables como la intensidad lumínica, temperatura del microambiente y volumen hídrico, midiendo respuestas en altura de planta, número de hojas, y vigor foliar. Este enfoque permitió establecer relaciones causales entre las condiciones controladas y el comportamiento de las plántulas (Corona-Lisboa, 2016).

1.3.3 Método bibliográfico

Para sustentar el marco teórico, se llevó a cabo una revisión documental exhaustiva utilizando fuentes científicas actuales, como artículos de revistas indexadas, tesis académicas, manuales técnicos e informes institucionales. Esta base documental respaldó tanto la selección de las técnicas experimentales como la interpretación de los resultados, asegurando coherencia entre la fundamentación teórica y el desarrollo práctico del experimento experimentales (Arias & Covinos Gallardo, 2021).

1.3.4 Método observacional

Se empleó el método observacional estructurado para registrar datos morfométricos y ambientales durante el desarrollo del cultivo. Las observaciones se realizaron periódicamente, considerando variables como temperatura superficial del suelo, humedad del sustrato y tasa de crecimiento foliar. Además, se implementó una cámara térmica digital para visualizar la distribución del calor dentro del macrotúnel, técnica que permitió correlacionar los registros

térmicos con el comportamiento agronómico del cultivo (Anderson & Ingram, 1993).

1.4 Fuentes de recopilación de la información

1.4.1 Fuentes primarias

Se obtuvieron a partir de mediciones directas en plántulas de pepino bajo macrotúnel con sombra al 35 %. Se evaluaron variables como altura, número de hojas, área foliar y temperatura, utilizando instrumentos como la cámara térmica para registrar el microclima y su efecto en el crecimiento.

1.4.2 Fuentes secundarias

Para esta fuente se incluyeron literatura científica relacionada con el cultivo de pepino, estructuras protegidas, fisiología vegetal. La información se encontró en bases de datos como Google Scholar, Scopus, SciELO y Redalyc, con el fin de respaldar el análisis teórico y metodológico del estudio.

1.5 Diseño de la Investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental, aplicando un Diseño Completamente al Azar (DCA), con el objetivo de evaluar el efecto del sistema de cultivo y la variedad sobre el crecimiento y desarrollo del pepino (*Cucumis sativus* L.). Se establecieron cuatro tratamientos, definidos por la combinación de dos variedades (Marketmore y Jaguar) y dos condiciones ambientales: macrotúnel con sarán al 35 % de sombra y campo abierto.

Los tratamientos evaluados fueron: T1 (Marketmore bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra), T2 (Jaguar bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra), T3 (Marketmore en campo abierto) y T4 (Jaguar en campo abierto). Cada tratamiento contó con tres repeticiones, conformando un total de doce unidades experimentales, las cuales se distribuyeron de manera aleatoria dentro del área experimental para garantizar la homogeneidad y validez estadística de los resultados.

Tabla 2. Esquema de ADEVA con un diseño completamente con 4 repeticiones

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	2
Erros	9
Total	11

1.5.1 Materiales

- Semillas de hortalizas (pepino)
- Bandejas de germinación de 128 cavidades
- Sustrato (mezcla aserrín, humus de lombriz)
- Macrotúneles con cubierta plástica y con malla sombra
- Herramientas: regla milimétrica, calibre digital, balanza de precisión, termohigrómetro
- Software estadístico R Studio

1.5.2 Descripción de los tratamientos

Se establecieron cuatro tratamientos con cuatro repeticiones cada uno, sumando un total de 12 unidades experimentales. Cada unidad con 6 plantas por repetición.

Tabla 3. *Tratamiento de estudio*

Tratamiento	Variedad	Sistema de cultivo	Descripción del tratamiento
T1	Marketmore	Macrotúnel con sarán al 35 % de sombra	Cultivo de pepino variedad Marketmore bajo condiciones de sombra parcial mediante macrotúnel
T2	Jaguar	Macrotúnel con sarán al 35 % de sombra	Cultivo de pepino variedad Jaguar bajo condiciones de sombra parcial mediante macrotúnel
T3	Marketmore	Campo abierto	Cultivo de pepino variedad Marketmore en condiciones ambientales sin protección
T4	Jaguar	Campo abierto	Cultivo de pepino variedad Jaguar en <u>condiciones ambientales sin protección</u>

1.6 Instrumentos de investigación

El experimento se desarrolló bajo un diseño completamente al azar, estableciéndose cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno, para un total de doce unidades experimentales. Los tratamientos correspondieron a: T1 (variedad Marketmore bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra), T2 (variedad Jaguar bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra), T3 (variedad Marketmore en campo abierto) y T4 (variedad Jaguar en campo abierto).

Cada unidad experimental consistió en una cama de cultivo de 1,0 m de ancho por 3,0 m de largo, en la cual se establecieron 10 plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.), distribuidas de manera uniforme. Las camas se separaron mediante pasillos de 0,5 m, con el fin de evitar interferencias entre tratamientos y facilitar las labores de manejo y evaluación.

El trasplante se realizó utilizando plántulas previamente germinadas en bandejas, seleccionadas a los 15 días después de la siembra, cuando presentaron entre dos y tres hojas verdaderas y un sistema radicular bien conformado. Las plantas se establecieron con una distancia de 30 cm entre individuos, garantizando una distribución equidistante dentro de cada unidad experimental.

El manejo hídrico se efectuó mediante riego localizado, ajustando la frecuencia de aplicación en función de las condiciones ambientales y las necesidades del cultivo durante las distintas fases fenológicas, evitando condiciones de estrés hídrico o encharcamiento.

La fertilización se basó en el uso de enmiendas orgánicas, aplicándose 400 g de humus de lombriz por planta al momento del trasplante, incorporado directamente en la zona radicular. Adicionalmente, se realizaron aplicaciones complementarias cada 15 días, con el objetivo de mantener una adecuada disponibilidad de nutrientes durante el ciclo del cultivo.

Durante el ciclo productivo, con una duración aproximada de tres meses, se realizaron evaluaciones semanales de variables morfológicas y fisiológicas, incluyendo altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas, número de flores y días a la floración, utilizando instrumentos como cinta métrica y calibrador digital. Asimismo, se efectuaron observaciones fenológicas relacionadas con floración, fructificación y madurez comercial.

La cosecha se llevó a cabo cuando los frutos alcanzaron el estado de madurez de consumo, registrándose peso promedio del fruto, longitud y diámetro, con el fin de evaluar el efecto de los tratamientos sobre el desempeño agronómico y productivo del cultivo de pepino bajo condiciones de macrotúnel con sarán al 35 % de sombra y campo abierto.

1.6.1 Medición de variables

A los 21 días después de la siembra se evaluaron las siguientes variables agronómicas:

La evaluación de las variables se realizó de manera sistemática durante el ciclo del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), considerando variables morfológicas, reproductivas y productivas, con el fin de analizar la respuesta del cultivo bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra y en campo abierto.

- **Altura de planta (cm):** La altura de planta se midió desde la base del tallo, a nivel del suelo, hasta el ápice de crecimiento, utilizando una cinta métrica graduada en

centímetros. Las mediciones se efectuaron a los 15, 30, 45 y 60 días después del trasplante, registrándose los valores por planta y posteriormente calculando el promedio por unidad experimental.

- **Diámetro del tallo (mm):** El diámetro del tallo se determinó a 2 cm por encima del cuello de la planta, empleando un calibrador digital con precisión milimétrica. Las evaluaciones se realizaron en los mismos intervalos que la altura de planta (15, 30, 45 y 60 días), considerando plantas representativas de cada unidad experimental.
- **Número de hojas (unidades):** El número de hojas se cuantificó mediante conteo directo, considerando únicamente hojas completamente desarrolladas y funcionales. Las evaluaciones se realizaron a los 15, 30, 45 y 60 días después del trasplante, registrándose el número total por planta.
- **Número de flores:** El número de flores se determinó mediante conteo directo de flores visibles por planta durante la fase reproductiva. Las evaluaciones se realizaron a los 30, 45 y 60 días, coincidiendo con los principales eventos de floración del cultivo.
- **Días a la floración (días):** Los días a la floración se registraron contabilizando el número de días transcurridos desde el trasplante hasta la aparición de la primera flor abierta en cada planta. El valor se expresó como promedio por tratamiento.
- **Peso del fruto (g):** El peso promedio del fruto se obtuvo pesando frutos cosechados en estado de madurez comercial, utilizando una balanza digital de precisión, expresándose los resultados en gramos (g).
- **Longitud del fruto (cm):** La longitud del fruto se midió desde la base hasta el extremo apical, empleando una regla graduada en centímetros, registrándose el valor promedio por tratamiento (Soza, 2023).
- **Diámetro del fruto (cm):** El diámetro del fruto se determinó en la parte central del mismo, utilizando un calibrador digital, expresando los resultados en centímetros (cm) (Chacón-Padilla et al., 2020).

1.6.2 Variables de interés

Variables independientes

- Macrotúnel de sarán al 35% de sombra

Variables dependientes

- Altura de plántula (cm)
- Diámetro del tallo (mm)
- Número de hojas
- Diámetro del fruto
- Peso del fruto
- Longitud del fruto
- Numero de flores
- Días a la floración

1.7 Análisis estadístico

El objetivo fue identificar el efecto individual y combinado de estos factores sobre las variables agronómicas y de producción de las plántulas. Se verificaron los supuestos de normalidad de los residuos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene (Arias, 2012). En caso de detectarse diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$), se procedió a realizar una prueba de comparación de medias de Tukey para determinar qué tratamientos presentaron diferencias entre sí (Martínez-Carazo, 2006). El análisis estadístico se ejecutó en el software RStudio.

1.8 Recursos humanos y materiales

1.8.1 Recursos humanos

El desarrollo del proyecto contó con la participación de los siguientes actores:

Directora del proyecto de investigación curricular: Ing. Myriam Elizabeth Zambrano Mendoza, Mg

Estudiante responsable y autor del proyecto: Brigitte Antonela Vega Reyna

Ambas colaboramos en la planificación, ejecución y evaluación del estudio, garantizando el cumplimiento de los objetivos planteados.

1.8.2 Material vegetal

- Semillas certificadas de pepino.
- Bandejas de germinación de 128 cavidades.
- Bolsas de polietileno negro de 20 × 30 cm para trasplante.
- Etiquetas plásticas para identificación de tratamientos.

1.8.3 Componentes de los sustratos

Se formularon tres tipos de sustratos a partir de materiales orgánicos e inorgánicos de origen local y comercial:

- Compost orgánico maduro.
- Suelo agrícola (cribado).
- Aserrín

Las proporciones de cada mezcla fueron ajustadas en volumen para garantizar homogeneidad y facilitar la comparación experimental.

1.8.4 Herramientas y equipos complementarios

- Balanza digital para biomasa seca.
- Regla milimetrada y calibrador para medición de altura y diámetro.
- pH-metro y conductímetro digital.
- Termómetro de suelo.
- Guantes, palas pequeñas y tamiz.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Agricultura

La agricultura ha representado uno de los avances más significativos en la historia de la humanidad. El ser humano, como *Homo sapiens*, desarrolló la capacidad de domesticar plantas para la producción de alimentos, un hecho que se estima comenzó hace entre 10.000 y 15.000 años (Quirós-García, 2015). Esta actividad ha evolucionado hasta convertirse en una de las bases fundamentales del desarrollo económico y social de los pueblos (Soto, 2020).

El concepto de agricultura comprende todas las labores asociadas al cultivo de la tierra, incluyendo el tratamiento del suelo y la siembra de especies vegetales (Adame et al., 2021). Esta actividad se orienta principalmente a la producción de alimentos como hortalizas, frutas y cereales (López-Feldman & Hernández-Cortés, 2016).

2.2 Agricultura protegida

La agricultura protegida se define como un sistema productivo realizado en estructuras cerradas o semicerradas, recubiertas con materiales transparentes o semitransparentes (Cruz-Andrés et al., 2018). Estas estructuras permiten controlar de forma parcial o total el ambiente en el que se desarrolla el cultivo (Padilla-Bernal et al., 2012). Este tipo de agricultura facilita la mitigación de los efectos climáticos adversos y mejora la eficiencia del uso de insumos, generando condiciones óptimas para el desarrollo vegetal (Adame et al., 2021),

2.3 Tipos de estructuras de agricultura protegida

2.3.1 Acolchados

Los acolchados consisten en estructuras arqueadas cubiertas con plástico transparente resistente a los rayos ultravioleta (Juarez et al., 2011). Proporcionan una temperatura adecuada para los cultivos y mejoran el microclima del suelo (Adame et al., 2021). Presentan ventajas como la protección contra lluvias, heladas y plagas; sin embargo, requieren una inversión inicial alta y tienen una durabilidad limitada (Lozano-Povis et al., 2021).

2.3.2 Microtúneles

Estas estructuras protegen los cultivos en sus primeras etapas de desarrollo. Están diseñadas para conservar la temperatura y prevenir enfermedades. Son utilizadas

principalmente en cultivos de ciclo corto y requieren menor inversión que otras estructuras (Cruz-Andrés et al., 2018)

El rendimiento térmico del microtúnel y su eficacia productiva dependen de diversos factores, entre ellos, el tipo de material utilizado como cubierta, la forma y tamaño de la estructura, el sistema de ventilación, el grado de hermeticidad, la orientación, el tipo de estructura de soporte, y el nivel de sombreado o conectividad térmica que posea (Miserendino, 2011). Las dimensiones del túnel deben ajustarse al cultivo en cuestión, asegurando un entorno adecuado para su crecimiento (Abad-Abad et al., 2020).

Por ejemplo, especies como fresa, rábano, lechuga o zanahoria requieren túneles con una altura de entre 30 y 40 centímetros, mientras que cultivos como jitomate de porte determinado, pimiento o berenjena necesitan estructuras de entre 80 y 90 centímetros de altura para garantizar un desarrollo óptimo (Aldama-Aguilera et al., 2005).

Figura 2. *Microtúnel para producción de plántulas de hortalizas*



Fuente: tomado de Juárez et al. (2011)

2.3.3 Macrotúneles

Los macrotúneles son estructuras intermedias entre los microtúneles y los invernaderos convencionales. Aunque no alcanzan las dimensiones ni las condiciones técnicas requeridas para clasificarse como invernaderos formales, permiten realizar labores agrícolas en su interior (Cruz-Andrés et al., 2018). Generalmente presentan un ancho entre 4 y 5 metros y una altura máxima de 2 a 3 metros, con longitudes que, para facilitar su manejo, se recomienda no excedan los 60 metros, aunque se han reportado estructuras de hasta 100 metros de largo en algunos sistemas productivos, como los ubicados en México (Adame et al., 2021; Chávez-Rodríguez et al., 2011).

Estas estructuras resultan especialmente útiles para la instalación de semilleros, almácigos y para la propagación vegetativa de especies hortícolas u ornamentales, también se emplean para la producción comercial de hortalizas bajo condiciones protegidas (Velásquez et al., 2014). Entre sus principales ventajas se destacan su bajo costo, facilidad de construcción y adaptabilidad a distintos cultivos (Escamirosa-Tinoco et al., 2021).

Sin embargo, presentan limitaciones frente a los invernaderos tradicionales, como una menor capacidad para conservar el calor durante la noche debido a su volumen reducido, y el riesgo de acumulación excesiva de calor durante el día, por la ausencia de sistemas de ventilación natural eficientes (Cruz-Andrés et al., 2018).

Gracias a su cubierta de polietileno resistente y estructura metálica móvil, los macrotúneles permiten cubrir extensas áreas de cultivo. Estas características facilitan el control de factores como malezas, plagas y enfermedades, además de reducir el consumo hídrico y mejorar la eficiencia productiva del sistema agrícola protegido (Adame et al., 2021; Chávez-Rodríguez et al., 2011).

Figura 3. *Macrotúneles con cubierta plástica Invernaderos con cubierta plástica y malla sombra en la parte superior*



Fuente: tomado de Juárez et al. (2011)

2.3.4 Casa sombra

La casa sombra se construye con estructura metálica y malla plástica de polietileno o polipropileno. Permite el ingreso de agua de lluvia y protege los cultivos del exceso de radiación, granizo e insectos, mejorando el microclima interno (Velásquez et al., 2014) . Según la de Juárez et al. (2011). esta estructura es ideal para regiones tropicales y se adapta a las necesidades de diversos cultivos.

Entre sus ventajas se incluyen mayor ventilación que en invernaderos, reducción de la temperatura, mayor humedad relativa y menor uso de plaguicidas. Sin embargo, presentan una mayor incidencia de plagas que en estructuras cerradas y permiten el ingreso de lluvia, lo que puede afectar ciertos cultivos (Cruz-Andrés et al., 2018).

Figura 4. *Casa sombra con producción de plantas ornamentales y forestales*



Fuente: tomado de Juárez et al. (2011)

2.4 Influencia de la sombra en el desarrollo de los cultivos

En la agricultura moderna, el manejo de la radiación solar constituye un componente fundamental para optimizar el crecimiento vegetal y la productividad de los cultivos (Chávez-Rodríguez et al., 2011). La implementación de estructuras de sombra, como casas sombra o mallas sombra, permite regular el microclima al interior del sistema productivo, especialmente en regiones con alta incidencia solar o variaciones térmicas extremas (Flores, 2023).

2.5 Efecto sobre la radiación y la fotosíntesis

La sombra parcial proporcionada por mallas plásticas de diferentes porcentajes de sombreo (30 %–50 %) permite reducir la intensidad lumínica que llega directamente a las hojas (Velásquez et al., 2014). Esta moderación evita el estrés por exceso de radiación, conocido como fotoinhibición, y favorece un balance fotosintético más eficiente (Flores, 2023). Estudios han demostrado que niveles moderados de sombra pueden mejorar la tasa neta de fotosíntesis en especies sensibles al exceso de luz, como el pepino, la lechuga o el pimiento (Miserendino, 2011).

2.5.1 Regulación térmica del ambiente

Las estructuras de sombra también actúan como moderadoras de la temperatura

ambiente y del suelo, al limitar la acumulación excesiva de calor durante las horas de mayor radiación (Miserendino, 2011). Este control térmico permite reducir los golpes de calor que afectan la floración, la polinización y el cuajado de frutos. Temperaturas más estables favorecen un desarrollo vegetativo continuo, especialmente en cultivos hortícolas de ciclo corto (Cruz-Andrés et al., 2018).

2.5.2 Incremento de la humedad relativa

El sombreamiento contribuye a mantener mayores niveles de humedad relativa dentro del sistema de producción, lo cual favorece el intercambio gaseoso de las plantas y reduce las pérdidas por evapotranspiración (Velásquez et al., 2014). Esto se traduce en un uso más eficiente del agua, una característica esencial para sistemas hortícolas bajo riego por goteo en regiones áridas o de alta temperatura ambiental (Miserendino, 2011).

2.5.3 Protección frente a factores abióticos y bióticos

Las casas sombra proporcionan una barrera física que protege a los cultivos de lluvias intensas, granizo, viento fuerte y radiación directa. Adicionalmente, disminuyen la presión de insectos-plaga al actuar como filtro físico, lo que reduce el uso de pesticidas y permite mantener una producción más limpia y amigable con el ambiente (Cruz et al., 2018).

2.5.4 Mejora en la calidad del producto

El manejo de cultivos bajo sombra ha demostrado mejorar la calidad comercial de los productos agrícolas, reduciendo daños por quemaduras solares, rajaduras o cambios fisiológicos asociados a estrés térmico (Cruz et al., 2018). En hortalizas como el pepino, el tomate o la berenjena, estas condiciones favorecen la formación de frutos de mayor tamaño, color uniforme y mayor firmeza (Ariza et al., 2022).

2.6 Descripción técnica y características destacadas del pepino

El pepino (*Cucumis sativus* L.) es una hortaliza de alto valor funcional y agronómico, perteneciente a la familia Cucurbitaceae. Su principal componente es el agua, lo que lo convierte en un alimento ideal para la hidratación natural, aportando un contenido hídrico superior al 96 % (Alvarado-Carrillo et al., 2018). Este atributo no solo mejora su aceptación como producto fresco, sino que también favorece el desarrollo de dietas bajas en calorías y ricas en micronutrientes (Cázarez-Flores et al., 2022).

Desde el punto de vista nutricional, el pepino proporciona una fuente discreta de vitaminas del grupo B, así como vitamina C y vitamina E. La presencia de provitamina A, especialmente en la cáscara, junto con minerales como potasio, magnesio, fósforo y calcio, confiere propiedades antioxidantes y efectos positivos sobre el equilibrio electrolítico, la función cardiovascular y la salud ósea (Díaz Ayala, 2017).

Agronómicamente, es un cultivo exigente en condiciones térmicas, requiere ambientes con temperaturas óptimas entre 20 y 28 °C, humedad relativa entre 60 % y 80 %, y suelos bien drenados, ricos en materia orgánica (Cázarez-Flores et al., 2022). Su crecimiento se favorece en sistemas protegidos como macrotúneles o casas sombra, donde se controla la radiación solar, el estrés hídrico y la presión biótica, permitiendo obtener frutos de mejor calidad y mayor rendimiento por unidad de superficie (Anderson et al., 1996).

Por su rápida tasa de desarrollo, el pepino es una excelente opción para rotaciones intensivas o ciclos cortos dentro de la horticultura protegida, contribuyendo a la diversificación productiva, la seguridad alimentaria y el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos y solares (Alvarado-Carrillo et al., 2018).

Tabla 4. *Información nutrimental del pepino (por 100 g de porción comestible)*

Componente	Contenido	Recomendación diaria (Hombres)	Recomendación diaria (Mujeres)
Energía (Kcal)	13	3000	2300
Proteínas (g)	0.7	54	41
Lípidos totales (g)	0.2	100–117	77–89
Ácidos grasos saturados (g)	0.07	23–27	18–20
Ácidos grasos monoinsaturados (g)	0.01	67	51
Ácidos grasos poliinsaturados (g)	0.09	17	13
Hidratos de carbono (g)	1.9	375–413	288–316
Fibra dietética (g)	0.5	>35	>25
Agua (g)	96.7	2500	2000
Calcio (mg)	17	1000	1000
Hierro (mg)	0.3	8	18
Magnesio (mg)	13	400	310
Potasio (mg)	150	3400	2600
Fósforo (mg)	24	700	700
Vitamina C (mg)	2.8	90	75
Vitamina A (µg RAE)	105	900	700

Fuente: Chacón-Padilla et al. (2020)

ANTECEDENTES

En el ámbito socioeconómico, el proyecto Macrotúneles implementado por el Ingenio Pantaleón, la UVG y SIFE UVG promovió el desarrollo rural mediante la capacitación técnica y el acceso a microcréditos para cortadores de caña en Cunén, Quiché. La iniciativa, que comenzó con una fase piloto, escaló a diez estructuras en un año, demostrando que modelos integrales (tecnología + financiamiento) pueden fortalecer la autonomía productiva en comunidades agrícolas (Chávez Rodríguez et al., 2011).

Además, investigaciones sobre el cultivo de chile de agua evidenciaron que las cubiertas plásticas en macrotúneles modifican el microclima, incrementando la temperatura y humedad. Estas condiciones favorecieron la síntesis de fenoles y antioxidantes, mientras que los flavonoides fueron más abundantes en cultivos a campo abierto. Tales resultados resaltan el potencial de los macrotúneles para producir hortalizas con valor agregado (Cruz-Andrés et al., 2018).

En Guatemala, un estudio en la Finca González evaluó cuatro híbridos de tomate Roma bajo macrotúnel, identificando ventajas clave como la reducción de plagas vectoras de virus y un incremento del 22% en el rendimiento respecto a campo abierto. El híbrido Retana destacó en producción (50,112 kg/ha), mientras que Helios obtuvo la mejor rentabilidad (relación beneficio/costo: 1.44). Estos datos refuerzan la viabilidad económica de los sistemas protegidos (Hernández, 2017).

Finalmente, un experimento con plántulas de cucurbitáceas (pepino, melón y sandía) en macrotúneles determinó que el uso de bandejas con mayor densidad de alveolos (162 y 200) mejora la formación del pilón, aunque la sombra generada por coberturas de sarán provocó elongación excesiva. Ningún tratamiento logró plántulas ideales para los tres cultivos, señalando la necesidad de ajustes específicos por especie (Enea, 2011).

CAPITULO III

3.1 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

En el marco del fortalecimiento de la docencia, la investigación aplicada y la vinculación con la sociedad, la implementación del sistema de macrotúnel con sarán al 35 % de sombra para el cultivo de pepino constituyó una estrategia técnica relevante para la comunidad universitaria. La estructura fue diseñada con dimensiones de 9 m × 9 m, cubriendo un área total de 81 m², establecida sobre una superficie previamente nivelada con el fin de garantizar estabilidad estructural y uniformidad en el desarrollo del cultivo.

El macrotúnel se construyó utilizando arcos de acero galvanizado de 2 pulgadas de diámetro, reforzados con correas longitudinales que incrementaron la rigidez del sistema y aseguraron su durabilidad frente a las condiciones climáticas locales. La cobertura de sarán al 35 % de sombra permitió una reducción controlada de la radiación solar incidente, favoreciendo la regulación térmica y lumínica del ambiente interno, sin comprometer los procesos fisiológicos asociados a la fotosíntesis. Este diseño generó un microclima más estable, adecuado para el crecimiento y desarrollo de hortalizas en condiciones tropicales.

La implementación del macrotúnel con estas características permitió a la comunidad universitaria disponer de un espacio experimental permanente, donde estudiantes y docentes desarrollaron actividades prácticas relacionadas con el manejo de cultivos protegidos, evaluación de variables agronómicas y comparación varietal. El cultivo de pepino variedades Marketmore y Jaguar facilitó el análisis de respuestas diferenciales en crecimiento vegetativo, arquitectura de planta y adaptación al ambiente sombreado, fortaleciendo la formación en áreas como fisiología vegetal, manejo agronómico y diseño experimental.

Desde el enfoque de transferencia de tecnología, la infraestructura funcionó como un módulo demostrativo replicable, orientado a la socialización de resultados hacia productores locales y actores del sector agrícola. Mediante prácticas demostrativas, capacitaciones técnicas y visitas guiadas, se evidenciaron las ventajas del uso del macrotúnel con sarán al 35 % de sombra en la reducción del estrés ambiental y en la mejora del desarrollo del cultivo de pepino. Esta experiencia permitió generar protocolos de manejo y recomendaciones técnicas adaptadas a las condiciones locales, promoviendo la adopción de tecnologías sostenibles y de bajo costo, y consolidando el rol de la universidad como un referente en innovación hortícola bajo sistemas de protección parcial.

Tabla 5. *Desglose de gastos de implementación del macrotúnel*

Ítem	Especificación	Cantidad	Costo unitario	Subtotal
Tubo galvanizado 2" (6 m)	Arcos, correas y arriostres de la estructura	24	9,5	228
Codos galvanizados 45°	Uniones estructurales de tubos	10	3	30
Abrazaderas metálicas	Fijación de la malla de sarán	120	0,4	48
Cable acerado 3/16"	Tensado y amarre estructural	46	0,75	34,5
Tornillos y tuercas galvanizados	Ensamble estructural	80	0,15	12
Cemento Portland (50 kg)	Anclajes de base	2	8,5	17
Arena fina	Mezcla de anclaje (0,3 m ³)	0,3	22	6,6
Malla de sarán 35 %	Cobertura del macrotúnel (90 m ² × 2,00 USD/m ²)	90	2	180
Mano de obra	Montaje de la estructura (4 jornales)	4	30	120
Transporte	Flete local de materiales	1	25	25
Subtotal				701,11
IVA 15 %				105,17
TOTAL				806,28

El costo total estimado para la construcción del macrotúnel con cubierta de sarán al 35 % de sombra fue de USD 806,28, incluyendo materiales, mano de obra, transporte e impuesto al valor agregado. La estructura metálica, representada por los tubos galvanizados, concentró aproximadamente el 28,3 % del presupuesto, constituyéndose en el componente de mayor inversión debido a su función estructural y durabilidad.

Los elementos de unión y fijación (codos, abrazaderas, tornillos y cable acerado) representaron en conjunto el 15,4 % del costo total, siendo fundamentales para garantizar la estabilidad y resistencia del macrotúnel. La malla de sarán al 35 % de sombra aportó el 22,3 % del presupuesto, desempeñando un rol clave en la regulación de la radiación solar y en la generación de un microclima favorable para el crecimiento y desarrollo del cultivo de pepino. La mano de obra correspondió al 14,9 % del costo total, mientras que los gastos asociados a anclaje, cimentación y transporte representaron el 19,1 % restante.

3.2 Diseño y selección de tecnologías a implementar

El sistema tecnológico seleccionado para el presente estudio integró dos componentes fundamentales: el macrotúnel con cubierta de sarán al 35 % de sombra y el sistema de riego por

goteo, ambos diseñados para favorecer el crecimiento y desarrollo del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de protección parcial y manejo eficiente de los recursos.

La elección del macrotúnel con sarán al 35 % de sombra respondió a su capacidad para regular la radiación solar incidente, atenuar el efecto de temperaturas elevadas y reducir el estrés lumínico sobre las plantas, sin limitar los procesos fisiológicos asociados a la fotosíntesis.

Esta cobertura permitió generar un microclima más estable, minimizando la incidencia directa de lluvias intensas y vientos, condiciones que suelen afectar negativamente el desarrollo vegetativo del cultivo en ambientes tropicales. Bajo este sistema, se evaluó el comportamiento agronómico de las variedades Marketmore y Jaguar, considerando su adaptación a ambientes con sombreado moderado.

Figura 5. *Crecimiento y desarrollo inicial del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema de macrotúnel con cubierta de sarán al 35 % de sombra*



Como complemento tecnológico, se incorporó un sistema de riego por goteo instalado de manera uniforme sobre las camas de siembra. El sistema estuvo conformado por tuberías de polietileno, válvulas de control, filtro de malla y cintas de goteo con emisores espaciados cada 20 cm, lo que permitió una aplicación precisa y localizada del agua en la zona radicular. Esta configuración favoreció una hidratación constante y homogénea durante las diferentes etapas fenológicas del cultivo.

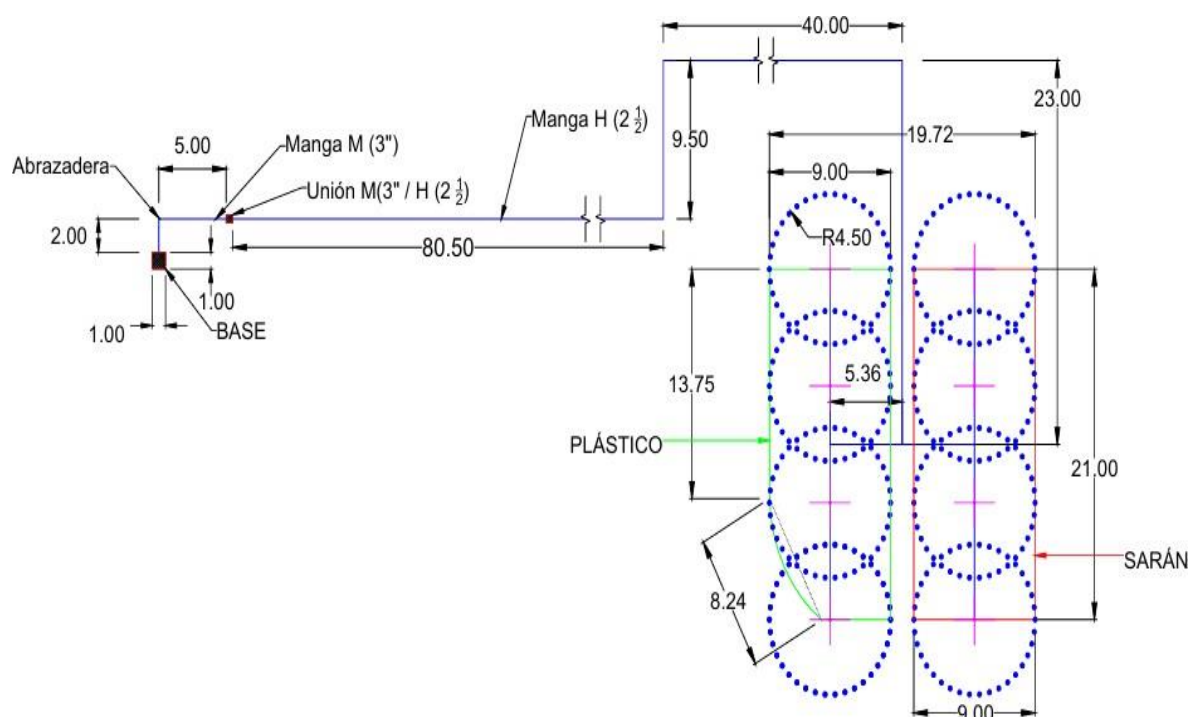
Figura 6. *Establecimiento y desarrollo inicial del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo macrotúnel con cubierta de sarán al 35 % de sombra*



La implementación del macrotúnel con cubierta de sarán al 35 % de sombra permitió establecer un ambiente de producción caracterizado por una regulación adecuada de la radiación solar y una mayor estabilidad microclimática. Estas condiciones favorecieron la reducción del estrés ambiental y promovieron un crecimiento vegetativo más uniforme del cultivo de pepino, contribuyendo a un mejor desarrollo fisiológico durante las etapas iniciales y productivas.

En conjunto, el uso del macrotúnel se consolidó como una alternativa sostenible, técnicamente eficiente y replicable, adaptada a las condiciones climáticas tropicales y orientada a optimizar el desempeño agronómico del cultivo.

Figura 7. Croquis técnico del sistema de riego por goteo implementado en el macrotúnel de plástico para el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)



3.3 Plan de implementación de la investigación

Actividad	Descripción técnica	Funcionamiento y propósito	Imagen
Preparación del terreno y formación de camas	El área experimental fue limpiada y nivelada para garantizar uniformidad en el interior del macrotúnel. Se delimitaron camas de siembra con espaciamiento regular y se realizaron hoyos individuales.	Permitió mejorar el drenaje, favorecer la aireación del suelo y asegurar un adecuado establecimiento radicular, creando condiciones óptimas para el crecimiento inicial del cultivo.	
Establecimiento inicial del cultivo	Se realizó el trasplante de plántulas de pepino de aproximadamente 21 días de edad, distribuidas equidistantemente sobre montículos previamente formados.	Facilitó un crecimiento inicial uniforme y redujo el riesgo de encharcamiento, favoreciendo la adaptación de las plantas al ambiente del macrotúnel.	
Instalación del macrotúnel con sarán al 35 % de sombra	Se construyó el macrotúnel con arcos de acero galvanizado y se colocó la cubierta de sarán al 35 % de sombra.	Reguló la radiación solar incidente, redujo el estrés térmico y generó un microclima más estable para el desarrollo del cultivo.	
Distribución de tratamientos y repeticiones	Se establecieron dos variedades de pepino (Marketmore y Jaguar), y la correcta organización en cuatro repeticiones, con identificación visible de las unidades experimentales.	Permitió el control sistemático del ensayo y la correcta evaluación comparativa del crecimiento y desarrollo entre variedades.	
Crecimiento vegetativo y conducción vertical	Las plantas fueron guiadas mediante hilos de soporte fijados a la parte superior del macrotúnel.	Favoreció la aireación, la exposición uniforme a la luz filtrada y un crecimiento ordenado, contribuyendo a la sanidad vegetal.	

Actividad	Descripción técnica	Funcionamiento y propósito	Imagen
Floración y desarrollo de frutos	Se observó la emisión de flores axilares y la formación progresiva de frutos bajo el ambiente protegido.	Las condiciones microclimáticas del macrotúnel favorecieron la cuaja y el llenado adecuado de los frutos.	
Fase productiva del cultivo	Los frutos alcanzaron calibres comerciales homogéneos y características adecuadas de desarrollo.	El sistema de macrotúnel con sarán al 35 % de sombra permitió un desempeño productivo favorable del cultivo.	

3.4 Resultados y discusión

3.4.1 Altura (cm)

A los 15 días, el análisis estadístico mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$). El coeficiente de variación fue de 13,32 %, indicando una variabilidad aceptable para esta etapa inicial del cultivo. El tratamiento con la media más alta fue T4 (Jaguar en campo abierto), con una altura de $60 \pm 2,69$ cm, mientras que la media más baja correspondió a T2 (Jaguar bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra), con $35 \pm 2,69$ cm, evidenciando un crecimiento inicial reducido bajo condiciones de sombreado parcial.

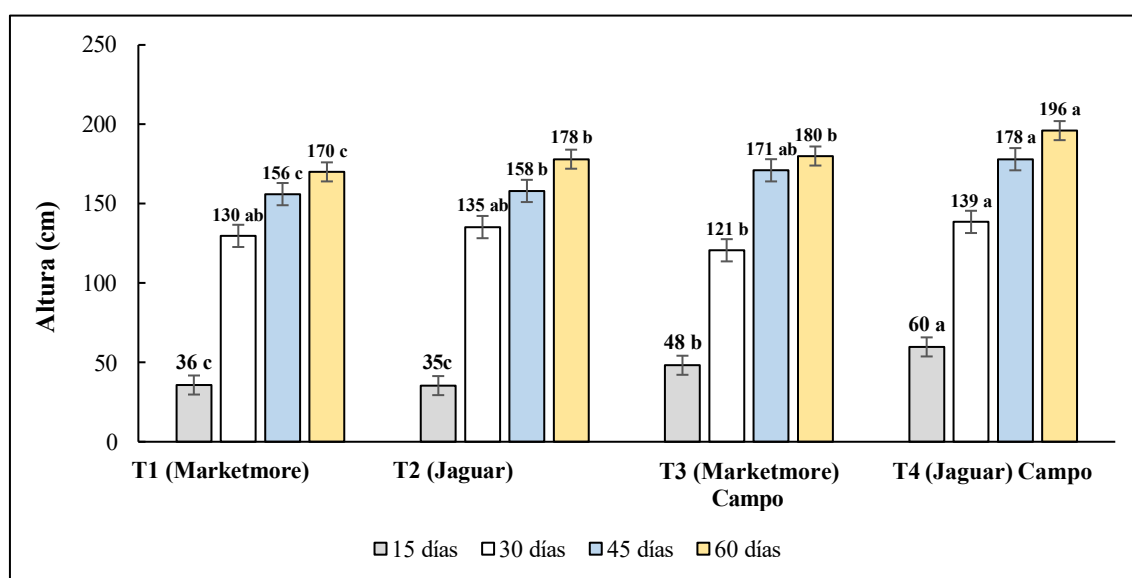
A los 30 días, se mantuvieron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$). El coeficiente de variación alcanzó 21,01 %, reflejando una mayor dispersión asociada al incremento del desarrollo vegetativo. La media más alta se registró en T4 (Jaguar en campo abierto), con $139 \pm 8,18$ cm, mientras que la media más baja se observó en T3 (Marketmore en campo abierto), con $121 \pm 8,18$ cm.

A los 45 días, el análisis estadístico evidenció nuevamente diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p = 0,0003$). El coeficiente de variación fue de 11,19 %, lo que indicó una adecuada homogeneidad experimental. El tratamiento con la media más alta fue T4 (Jaguar en campo abierto), alcanzando $178 \pm 7,16$ cm, mientras que la media más baja correspondió a T1 (Marketmore bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra), con $156 \pm 7,16$ cm.

cm.

A los 60 días, se confirmaron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$). El coeficiente de variación fue de 13,78 %, valor considerado adecuado para estudios de crecimiento vegetal. La media más alta se registró en T4 (Jaguar en campo abierto), con $196 \pm 5,70$ cm, mientras que la media más baja correspondió a T1 (Marketmore bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra), con $170 \pm 5,70$ cm.

Figura 8. Altura de planta del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) a los 15, 30, 45 y 60 días de evaluación bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra y en campo abierto, en las variedades Marketmore y Jaguar



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

En ese sentido, Kitta & Katsoulas (2020), evaluaron pepino hidropónico en invernadero con 0 %, 35 % y 50 % de sombreo, y reportaron que el 35 % de sombreo redujo la fotosíntesis (aprox. 20 % menos que el control sin sombreo) y el 50 % redujo aún más la asimilación neta de CO_2 . Ese resultado permitió sostener, desde un enfoque fisiológico, que una cubierta tipo sarán al 35 % pudo limitar parcialmente la energía disponible para sostener tasas máximas de elongación del tallo.

La relación entre manejo de sombreo y crecimiento vegetativo también fue documentada por Abu-Zahra & Ateyyat (2016), quienes compararon métodos de sombreo en pepino y reportaron diferencias en longitud promedio de planta: el tratamiento denominado GS1 alcanzó 230,0 cm, mientras que el control sin sombreo registró 148,7 cm.

3.4.2 Diámetro del tallo (mm)

A los 15 días, el análisis estadístico evidenció la existencia de diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$). El coeficiente de variación fue de 8,95 %, lo que indicó una adecuada precisión experimental en esta etapa inicial. El tratamiento que presentó el mayor diámetro del tallo fue T3 (Marketmore en campo abierto), con $6,16 \pm 0,12$ mm, mientras que el menor valor correspondió a T2 (Jaguar bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra), con $4,49 \pm 0,12$ mm, evidenciando un menor engrosamiento inicial del tallo bajo condiciones de protección parcial.

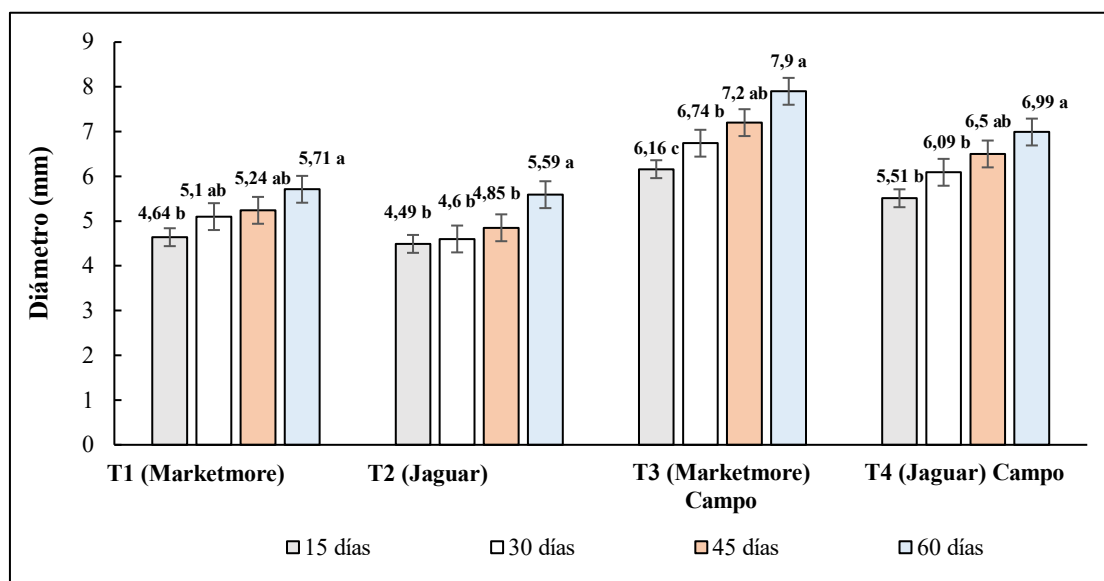
A los 30 días, se mantuvieron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$). El coeficiente de variación fue de 10,33 %, reflejando una variabilidad moderada conforme avanzó el crecimiento vegetativo. El mayor diámetro del tallo se registró en T3 (Marketmore en campo abierto), con $6,74 \pm 0,15$ mm, mientras que el menor valor se observó en T2 (Jaguar bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra), con $4,60 \pm 0,15$ mm.

A los 45 días, el análisis estadístico confirmó nuevamente la presencia de diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$). El coeficiente de variación alcanzó 12,58 %, indicando una mayor dispersión asociada al incremento del desarrollo estructural de las plantas. El tratamiento con el mayor diámetro del tallo fue T3 (Marketmore en campo abierto), con $7,20 \pm 0,17$ mm, mientras que el menor diámetro correspondió a T2 (Jaguar bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra), con $4,85 \pm 0,17$ mm.

A los 60 días, se evidenciaron nuevamente diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$). El coeficiente de variación fue de 10,58 %, valor considerado adecuado para estudios de crecimiento estructural en hortalizas. El mayor diámetro del tallo se registró en T3 (Marketmore en campo abierto), alcanzando $7,90 \pm 0,19$ mm, mientras que el menor valor correspondió a T2 (Jaguar bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra), con $5,59 \pm 0,19$ mm.

Este patrón concuerda con lo reportado por Sánchez-Del Castillo et al. (2006), quienes evaluaron pepino europeo variedad Kalunga y registraron diámetros de tallo entre 6,8 y 9,5 mm a los 47 días después de la siembra, dependiendo de la edad de trasplante.

Figura 9. *Diámetro del tallo del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) a los 15, 30, 45 y 60 días de evaluación bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra y en campo abierto, en las variedades Marketmore y Jaguar*



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

3.4.3 Número de hojas

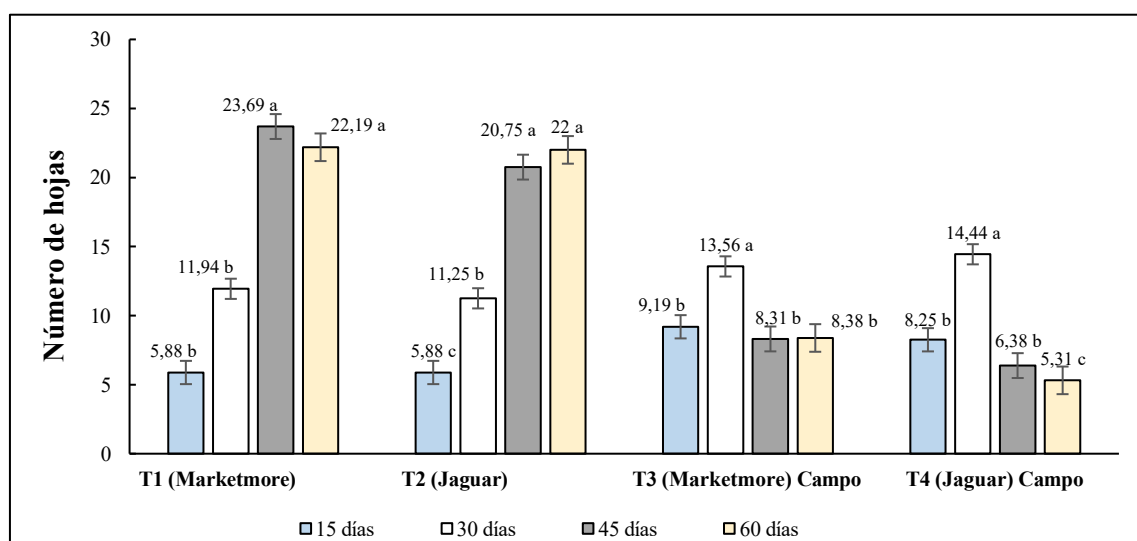
A los 15 días, el análisis estadístico evidenció diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$). El coeficiente de variación fue de 16,11 %, lo que indicó una variabilidad aceptable para esta etapa inicial del cultivo. El tratamiento con el mayor número de hojas fue T3 (Marketmore en campo abierto), con $9,19 \pm 0,29$ hojas, mientras que el menor valor correspondió tanto a T1 (Marketmore) como a T2 (Jaguar) bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra, ambos con $5,88 \pm 0,29$ hojas, evidenciando un desarrollo foliar inicial más limitado bajo condiciones de protección parcial.

A los 30 días, se mantuvieron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$). El coeficiente de variación fue de 14,33 %, reflejando una adecuada precisión experimental. El mayor número de hojas se registró en T4 (Jaguar en campo abierto), con $14,44 \pm 0,46$ hojas, mientras que el menor valor se observó en T2 (Jaguar bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra), con $11,25 \pm 0,46$ hojas.

A los 45 días, el análisis estadístico confirmó nuevamente la existencia de diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$). El coeficiente de variación alcanzó 21,13 %, indicando una mayor dispersión asociada al incremento del área foliar. El tratamiento con el mayor número de hojas fue T1 (Marketmore bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra), con $23,69 \pm 0,81$ hojas, mientras que el menor valor correspondió a T4 (Jaguar en campo abierto), con $6,38 \pm 0,81$ hojas, reflejando una marcada diferencia en la dinámica de emisión foliar entre ambientes de cultivo.

A los 60 días, se evidenciaron nuevamente diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$). El coeficiente de variación fue de 15,34 %, valor adecuado para estudios de crecimiento vegetativo. El mayor número de hojas se registró en T1 (Marketmore bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra), alcanzando $22,19 \pm 0,55$ hojas, mientras que el menor valor correspondió a T4 (Jaguar en campo abierto), con $5,31 \pm 0,55$ hojas.

Figura 10. Número de hojas del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) a los 15, 30, 45 y 60 días de evaluación bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra y en campo abierto, en las variedades Marketmore y Jaguar.



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

Sánchez-Del Castillo et al. (2006), quienes observaron que el crecimiento vegetativo inicial del pepino se intensificó en ambientes con mayor disponibilidad lumínica, favoreciendo una emisión foliar más temprana.

Sin embargo, en las evaluaciones posteriores, los tratamientos bajo macrotúnel, especialmente la variedad Marketmore, alcanzaron valores de número de hojas similares o superiores a los observados en campo abierto. Este patrón concuerda con lo descrito por De Bosque (2008), quienes indicaron que en sistemas protegidos el pepino tiende a mantener el follaje activo por más tiempo, reduciendo la senescencia foliar.

3.4.4 Número de flores

A los 30 días, el análisis estadístico evidenció la existencia de diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p = 0,0001$). El coeficiente de variación fue de 23,12 %, indicando una mayor dispersión de los datos en esta etapa inicial de floración. El tratamiento

que presentó el mayor número de flores fue T4 (Jaguar en campo abierto), con $10,88 \pm 0,57$ flores, mientras que el menor valor se registró en T1 (Marketmore bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra), con $2,62 \pm 0,57$ flores, evidenciando un inicio más tardío del proceso reproductivo bajo condiciones de protección parcial.

A los 45 días, se mantuvieron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p = 0,0001$), con un coeficiente de variación de 10,09 %, lo que reflejó una adecuada homogeneidad experimental durante la fase de máxima floración. El mayor número de flores se observó en T3 (Marketmore en campo abierto), alcanzando $22,53 \pm 0,62$ flores, mientras que el menor valor correspondió a T1 (Marketmore bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra), con $18,64 \pm 0,62$ flores.

A los 60 días, el análisis estadístico confirmó nuevamente diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p = 0,0001$). El coeficiente de variación fue de 12,89 %, valor considerado adecuado para esta etapa del cultivo. El tratamiento con el mayor número de flores fue T3 (Marketmore en campo abierto), con $13,88 \pm 0,20$ flores, mientras que el menor valor se registró en T4 (Jaguar en campo abierto), con $4,50 \pm 0,20$ flores, lo que evidenció una reducción progresiva de la floración hacia el final del ciclo, especialmente en esta variedad.

Tabla 6. Número de flores del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) a los 30, 45 y 60 días de evaluación bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra

Tratamiento	Número de flores		
	30 días	45 días	60 días
T1 (Marketmore)	$2,62 \pm 0,57$ b	$18,64 \pm 0,62$ d	$9,41 \pm 0,2$ ab
T2 (Jaguar)	$2,63 \pm 0,57$ b	$20,44 \pm 0,62$ c	$5,4 \pm 0,2$ b
T3 (Marketmore) Campo	$9,69 \pm 0,57$ ab	$22,53 \pm 0,62$ a	$13,88 \pm 0,2$ a
T4 (Jaguar) Campo	$10,88 \pm 0,57$ a	$21,67 \pm 0,62$ ab	$4,5 \pm 0,2$ b
P valor	0,0001	0,0001	0,0001
CV (%)	23,12	10,09	12,89

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

Este comportamiento fue consistente con lo reportado por Ausin et al. (2005), quienes señalaron que los sistemas de cultivo protegidos generan condiciones térmicas más estables, caracterizadas por una mayor temperatura media y una menor amplitud térmica diaria.

3.4.5 Días a la floración

Los días a la floración del cultivo de pepino mostraron diferencias significativas entre tratamientos, de acuerdo con la comparación de medias, lo que evidenció una respuesta

diferenciada del cultivo según el ambiente de producción y la variedad evaluada.

El tratamiento con la media más alta de días a la floración fue T1 (Marketmore bajo macrotúnel), con $45,6 \pm 0,3$ días, seguido de T2 (Jaguar bajo macrotúnel), con $43,0 \pm 0,3$ días, ambos con valores similares entre sí, lo que indicó una floración más tardía bajo condiciones de macrotúnel.

En contraste, los tratamientos establecidos en campo abierto presentaron una reducción marcada en los días a la floración. T3 (Marketmore en campo abierto) alcanzó la floración a los $33,0 \pm 0,3$ días, mientras que T4 (Jaguar en campo abierto) registró la media más baja, con $32,38 \pm 0,34$ días, evidenciando una floración más temprana en comparación con los tratamientos bajo macrotúnel.

Tabla 7. *Días a la floración del cultivo de pepino (Cucumis sativus L.) bajo macrotúnel y en campo abierto, en las variedades Marketmore y Jaguar*

Tratamiento	Días a la floración
	Días
T1 (Marketmore)	$45,6 \pm 0,3$ a
T2 (Jaguar)	$43,0 \pm 0,3$ a
T3 (Marketmore) Campo	$33,0 \pm 0,3$ b
T4 (Jaguar) Campo	$32,38 \pm 0,34$ c

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

Estos resultados fueron consistentes con investigaciones que señalaron que ambientes con mayor amplitud térmica y mayor exposición a la radiación solar favorecen una inducción floral más rápida en *Cucumis sativus*, reduciendo el número de días necesarios para alcanzar la floración (Acosta, 2023).

3.4.6 Peso (g), longitud de fruto (cm) y Diámetro (cm)

El análisis estadístico evidenció que el peso promedio del fruto presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,0222$), lo que indicó una respuesta diferenciada del rendimiento en función del ambiente de cultivo y la variedad. El tratamiento con la media más alta fue T3 (Marketmore en campo abierto), con $478,72 \pm 15,08$ g, mientras que la media más baja correspondió a T1 (Marketmore bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra), con $392,34 \pm 15,08$ g, evidenciando una mayor acumulación de biomasa del fruto en condiciones de campo abierto.

Para la longitud del fruto se observaron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p = 0,0001$). Los mayores valores se registraron en los tratamientos bajo macrotúnel, siendo T2 (Jaguar) el tratamiento con la media más alta, alcanzando $24,99 \pm 0,62$ cm, seguido de T1 (Marketmore) con $24,41 \pm 0,62$ cm. En contraste, la media más baja se observó en T3 (Marketmore en campo abierto), con $21,47 \pm 0,62$ cm, lo que indicó que el ambiente protegido favoreció el alargamiento del fruto.

El diámetro del fruto no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,5796$), lo que indicó un comportamiento similar de esta variable independientemente del ambiente de cultivo o la variedad. Aunque se registraron variaciones numéricas, el tratamiento con la media más alta fue T1 (Marketmore bajo macrotúnel), con $77,16 \pm 13,08$ mm, mientras que la media más baja correspondió a T4 (Jaguar en campo abierto), con $52,73 \pm 13,08$ mm, sin que estas diferencias fueran estadísticamente relevantes.

Tabla 8. Características físicas del fruto de pepino (*Cucumis sativus* L.): peso promedio, longitud y diámetro, bajo macrotúnel con sarán al 35 % de sombra y en campo abierto, en las variedades Marketmore y Jaguar

Tratamientos	Peso promedio de fruto (g)	Longitud (cm)	Diámetro del fruto (mm)
T1 (Marketmore)	$392,34 \pm 15,08$ b	$24,41 \pm 0,62$ a	$77,16 \pm 13,08$ a
T2 (Jaguar)	$422,21 \pm 15,08$ b	$24,99 \pm 0,62$ a	$58,14 \pm 13,08$ a
T3 (Marketmore)			
Campo	$478,72 \pm 15,08$ a	$21,47 \pm 0,62$ b	$54,28 \pm 13,08$ a
T4 (Jaguar) Campo	$425,16 \pm 15,08$ a	$21,67 \pm 0,62$ b	$52,73 \pm 13,08$ a
P valor	0,0222	0,0001	0,5796
CV (%)	13,02	10,09	13,87

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

Estos resultados fueron inferiores a los reportados por Acosta (2023), quien registró frutos con una longitud máxima de 27,80 cm en el tratamiento con mejor desempeño productivo. López-Elías et al. (2011), quienes señalaron que, en sistemas de cultivo protegido, la longitud del fruto de pepino tiende a mantenerse estable. Asimismo, los valores obtenidos superaron el umbral mínimo de 14 cm considerado como estándar comercial para frutos de buena calidad.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

- El crecimiento y desarrollo del cultivo de pepino estuvo condicionado por el sistema de producción, evidenciándose respuestas morfofisiológicas diferenciadas entre macrotúnel con sarán al 35 % de sombra y campo abierto. El campo abierto mostró mayor precocidad y crecimiento vertical, alcanzando hasta 196 cm de altura a los 60 días en el tratamiento T4, así como un mayor diámetro del tallo, con valores máximos de 7,90 mm en T3, lo que indicó una mayor acumulación de biomasa estructural bajo condiciones de mayor radiación y ventilación.
- El sistema de macrotúnel con sarán al 35 % de sombra favoreció una mayor estabilidad vegetativa, reflejada en un mayor número de hojas en etapas intermedias y finales, destacándose el tratamiento T1 con 23,69 hojas a los 45 días, lo cual evidenció una prolongación de la fase vegetativa asociada a la moderación de la radiación solar y la temperatura.
- En términos productivos, el campo abierto permitió obtener mayor peso de fruto, alcanzando 478,72 g en T3, mientras que el macrotúnel con sarán promovió frutos de mayor longitud, con un valor máximo de 24,99 cm en T2, lo que demostró que las condiciones de sombreado influyeron directamente en la conformación del fruto sin comprometer su calidad comercial.

RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis de costo-beneficio a largo plazo para la implementación del sistema de macrotúnel, considerando que, aunque la inversión inicial en materiales como el serán al 35% y la estructura es superior al cultivo tradicional, la durabilidad de estos insumos permite amortizar el capital en ciclos productivos subsecuentes.
- Optimizar la asignación de recursos financieros hacia la variedad *Marketmore* cuando se trabaje bajo macrotúnel, ya que su estabilidad morfofisiológica garantiza una menor pérdida de biomasa foliar, asegurando que la inversión en infraestructura protegida se traduzca en una eficiencia productiva real.
- Evaluar la rentabilidad neta del sistema de campo abierto para productores con capital de inversión limitado, dado que los resultados muestran un peso promedio del fruto superior (478,72 g) y una mayor precocidad, lo que permite un retorno de flujo de caja más rápido comparado con el sistema protegido.
- Considerar el valor comercial de la longitud del fruto como factor de retorno económico bajo macrotúnel (24,99 cm promedio), dirigiendo esta producción a nichos de mercado que paguen un sobreprecio por características estéticas y de tamaño, compensando así los costos operativos de la estructura.
- Ejecutar un plan de mantenimiento preventivo de la estructura del macrotúnel para prolongar la vida útil de los materiales detallados en la tabla de costos, reduciendo la tasa de depreciación anual y mejorando los indicadores de viabilidad financiera del proyecto a mediano plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad-Abad, C. F., Jiménez-Álvarez, L. S., & Capa-Mora, E. D. (2020). Efecto de la cubierta (microtúnel) en la productividad de dos variedades de fresa (*Fragaria vesca*) en el sector Cajanuma cantón Loja. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 31(1), 131-141.
- Abu-Zahra, T. R., & Ateyyat, M. A. (2016). Effect of various shading methods on cucumber (*Cucumis sativus* L.) growth and yield production. *International Journal of Environment and Sustainability*, 5(1), 10-17.
- Acosta, K. J. (2023). “Evaluación de diferentes distancias de siembra en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) con la aplicación de dos abonos orgánicos edáficos en el Recinto Chipe Hamburgo 2.” [Tesis de Grado, Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10100>
- Adame, J., Murillo, F., Mario, L., Villega, J., & Cabrera, H. (2021). *Producción De Hortalizas En Macrotúnel Para Mujeres De Zonas Rurales En Veracruz* (Primera Edición, Vol. 1-1). Red iberoamericana de academias de investigación. <https://redibai-myid.org/portal/wp-content/uploads/2021/12/redreducido.pdf>
- Aldama-Aguilera, C., Llanderal-Cázares, C., Soto-Hernández, M., & Castillo-Márquez, L. E. (2005). Producción de grana-cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) en plantas de nopal a la intemperie y en microtúneles. *Agrociencia*, 39(2), 161-171.
- Alvarado-Carrillo, M., Díaz-Franco, A., & Allende, F. (2018). Gallinaza, micorriza arbuscular y fertilización química reducida en la productividad de calabacita y pepino. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2), 273-279. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.02.08>
- Anderson, G. J., Jansen, R. K., & Kim, Y. (1996). El Origen y Relaciones del Pepino, *Solanum muricatum* (Solanaceae). *Economic Botany*, 50(1), 369-380.
- Anderson, J., & Ingram, J. (1993). A handbook of methods. *CAB International, Wallingford, Oxfordshire*, 221, 62-65.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica* (6ta ed.). Fidia G.
- Arias, J. L., & Covinos Gallardo, M. (2021). Diseño y metodología de la investigación. *Enfoques Consulting EIRL*, 1(1), 66-78.
- Ausin, I., Alonso-Blanco, C., & Martínez-Zapater, J.-M. (2005). Environmental regulation of flowering. *The International journal of developmental biology*, 49(5-6), 689-705.
- Banoo, A., Hussain, S., Hussain, N., Hussain, A., Khan, F. S., & Dar, S. R. (2024). Tomato

- performance in a protected structure: A review. *Advances in Research*, 25(5), 29-37.
- Bojacá, C., Casilimas, H., Monsalve, O., Gil, R., Villagrán, E., Arias, L. A., & Fuentes, L. S. (2012). *Manual de producción de pepino bajo invernadero*. Editorial Tadeo Lozano.
- Carabalí, J. Q., Gómez-García, J., Solano, M., Llumiquinga, G., Burgos, C., & Carrera-Villacrés, D. (2019). Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Togllahuayco. *Siembra*, 6(2), 46-57.
- Cázarez-Flores, L. L., Partida-Ruvalcaba, L., Velázquez-Alcaraz, T. de J., Ayala-Tafoya, F., Díaz-Valdés, T., Yáñez-Juárez, M. G., & López-Orona, C. A. (2022). Silicio y cloro en el crecimiento, rendimiento y calidad postcosecha de pepino y tomate. *Terra Latinoamericana*, 40.
- Chacón-Padilla, K., Monge-Pérez, J. E., Chacón-Padilla, K., & Monge-Pérez, J. E. (2020). Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero: Comparación entre tipos de pepino. *Revista Tecnología en Marcha*, 33(1), 17-35. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i1.5018>
- Chávez Rodríguez, C., Guerra Paredes, R., Gutiérrez Ortiz, R. C., Parada Pineda, P. R., Estrada de la Cerda, R., Montenegro Campollo, R. A., González Aja, I. F., & Vassaux Álvarez, S. M. (2011). *Macrotúneles*.
- Chávez-Rodríguez, C., Guerra Paredes, R., Gutiérrez Ortiz, R. C., Parada Pineda, P. R., Estrada de la Cerda, R., Montenegro Campollo, R. A., González Aja, I. F., & Vassaux Álvarez, S. M. (2011). *Macrotúneles* [Tesis de Grado, Universidad del Valle de Guatemala]. <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/1012>
- Chouhan, D., Singh, M., Tripathi, P., & Sharma, A. (2018). Effect of green shade net on yield and quality of tomato. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 7(9), 2148-2150.
- Corona-Lisboa, J. (2016). Apuntes sobre métodos de investigación. *MediSur*, 14(1), 81-83.
- Cruz-Andrés, O. R., Pérez-Herrera, A., Martínez-Gutiérrez, G. A., & Morales, I. (2018). Cubiertas de macrotúneles y su efecto en las propiedades nutraceuticas del chile de agua. *Revista fitotecnica mexicana*, 41(4A), 555-558.
- de Bosque, S. P. (2008). Fertilización, Mediante Fertirriego, Durante Diferentes Etapas Del Ciclo De Cultivo Del Pepino (*Cucumis sativus* L.) En Condiciones. *Agricultura Andina*, 15(3), 12-18.
- Díaz Ayala, K. N. (2017). “Producción de pepino (*Cucumis sativus*.) con dos sistemas de tutorado”.
- Enea, S. (2011). *Utilización de sarán sobre macro túneles y tres tipos de bandeja en la producción de plántulas de pepino, melón y sandía* [Tesis de Grado, Escuela Agrícola

<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/8dc4879d-ab78-4986-8b5e-941efa35fd06/content>

- Escamirosa-Tinoco, C., Martínez-Gutiérrez, G. A., Morales, I., Aquino-Bolaños, T., Cortés-Martínez, C. I., & Cruz-Andrés, O. R. (2021). Rendimiento de chile de agua bajo diferentes cubiertas de macrotúnel. *Revista fitotecnica mexicana*, 44(3), 333-340.
- Fallas-Campos, A. (2020). *Valoración del uso de casas sombra para la producción hortícola en la región Huetar Caribe de Costa Rica* [Tesis de Grado, Universidad de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/10669/85057>
- Flore- Velazquez, J., Fuentes Ruiz, C., Roblero Hidalgo, R., & Becerra Soriano, L. (2019). Evaluación de horticultura vertical en el IMTA en apoyo a la gestión integrada del agua a nivel de edificaciones en zonas urbanas. *Instituto Mexicano de Tecnología de Agua*, 1(2), 1-19.
- Flores, F. C. (2023). *Caracterización fenotípica de accesiones de tomate en condiciones a campo abierto y macrotúnel* [Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana]. <https://hdl.handle.net/11036/7481>
- García, A. (2012). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. *IAH*, 7, 27-36.
- Google Maps. (2025). 0°15'35.0"N 79°25'35.0"W. https://www.google.com.ec/maps/@-0.2621007,-79.443577,2416m/data=!3m1!1e3?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDUyNi4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D
- Hernández, H. C. I. (2017). *Evaluación de cuatro híbridos de tomate (Solanum lycopersicum L.) tipo roma, bajo macrotúnel, en el parcelamiento las nubes, bárcenas*, [Tesis de Grado, Universidad San Carlos De Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6896/1/HUMBERTO%20CARLYONE%20IZAGUIRRE%20HERN%C3%81NDEZ%203.1.pdf>
- Hidalgo, I. V. (2005). Tipos de estudio y métodos de investigación. *Recuperado el Noviembre de*, 20(1).
- IISD. (2017). Agriculture in the 21st Century: New Landscapes for People, Food and Nature [CENTRO DE CONOCIMIENTO DE LOS ODS]. *Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible*. <https://sdg.iisd.org/commentary/guest-articles/agriculture-in-the-21st-century-new-landscapes-for-people-food-and-nature/>
- INAMHI. (2022, abril 16). *Anuario metereológico*. Instituto Nacional de Meteorología e

Hidrología.

http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf.

- Islam, N., Hossain, I., & Choudhury, S. (2023). Impact of Different Shed Houses and Growing Media on Growth, Yield and Quality of Strawberry. *Journal of Agricultural Production*, 4(1), 30-38.
- Juarez, P., Bugarin Montoya, R., Castro Brindis, R., Sanchez Monteon, A. L., Cruz Crespo, E., Juarez Rosete, C. R., Alejo Santiago, G., & Balois Morales, R. (2011). ESTRUCTURAS UTILIZADAS EN LA AGRICULTURA PROTEGIDA. <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/4.pdf>.
<http://dspace.uan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/567>
- Kitta, E., & Katsoulas, N. (2020). Effect of shading on photosynthesis of greenhouse hydroponic cucumber crops. *Italian Journal of Agrometeorology*, 1, 41-48.
- López-Elías, J., Rodríguez, J. C., Huez, M. A., Garza, S., Jiménez, J., & Leyva, E. I. (2011). Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. *Idesia (Arica)*, 29(2), 21-27.
- López-Feldman, A. J., & Hernández Cortés, D. (2016). Cambio climático y agricultura: Una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El trimestre económico*, 83(332), 459-496.
- Lozano-Povis, A., Alvarez-Montalván, C. E., & Moggiano, N. (2021). El cambio climático en los andes y su impacto en la agricultura: Una revisión sistemática. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 101-108.
- Martínez-Carazo, P. C. (2006). El método de estudio de caso: Estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento & gestión*, 20, 165-193.
- Miserendino, E. (2011). Manual para la construcción de microtúneles. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, 4(1), 2.
- Nangare, D., Singh, J., Meena, V., Bhushan, B., & Bhatnagar, P. (2015). Effect of green shade nets on yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) in semi-arid region of Punjab. *Asian Journal of Advances in Basic and Applied Science*, 1(1), 1-8.
- Padilla-Bernal, L. E., Reyes-Rivas, E., & Pérez-Veyna, Ó. (2012). Evaluación de un cluster bajo agricultura protegida en México. *Contaduría y administración*, 57(3), 219-237.
- Quamruzzaman, A., Islam, F., & Mallick, S. (2021). Effect of different shade house on quality seedling raising of high value vegetables. *American Journal of Plant Sciences*, 12(01), 7.

- Quirós-García, M. (2015). El Libro de Agricultura de Gabriel Alonso de Herrera. *Criticón*, 123, Article 123. <https://doi.org/10.4000/criticon.1540>
- Regaber, M. (2024, abril 9). *Riego por goteo: La solución para una agricultura sostenible*. Regaber. <https://regaber.com/blog/riego-por-goteo-la-solucion-para-una-agricultura-sostenible/>
- Sánchez-Del Castillo, F. S.-D., Moreno-Pérez, E. del C., Contreras-Magaña, E., & Vicente-González, E. (2006). Reducción Del Ciclo De Crecimiento En Pepino Europeo, Mediante Trasplante Tardío. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(Especial_2), 87-87. https://doi.org/10.35196/rfm.2006.Especial_2.87
- Soto, G. (2020). El continuo crecimiento de la agricultura orgánica: Orgánico 3.0. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(1), 215-226.
- Soza, Á. (2023). *Efecto de combinaciones de sustratos en la producción de pepino (Cucumis sativus L.) bajo condiciones de invernadero* [Tesis de Grado, Universidad Autónoma Del Estado De Morelos]. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/4156/SOAELR02.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Velásquez, P., Ruíz, H., Chaves, G., & Luna, C. (2014). Productividad de lechuga *Lactuca sativa* en condiciones de macrotúnel en suelo Vitric haplustands. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(2), 93-105.
- Wahlang, F. C., & Joseph, A. V. (2024). Effect Of Growing Media And Containers On The Vegetative, Biochemical And Organoleptic Parameters Of Strawberry (*Fragaria Ananassa* Duch.) Cv. Winter Dawn. *Plant Archives* (09725210), 24(2).

ANEXOS

Anexo 1. *Preparación del terreno y perforación para la instalación de postes del sistema de soporte*



Anexo 2. *Desarrollo inicial de las plantas de pepino bajo sistema protegido con riego por goteo*



Anexo 3. *Formación de flores*



Anexo 4. *Formación de frutos en plantas de pepino durante la fase reproductiva*



Anexo 5. *Registro del peso individual de fruto de pepino durante la fase de cosecha*



Tesis completa CORREGIDA

8%
Textos
sospechosos

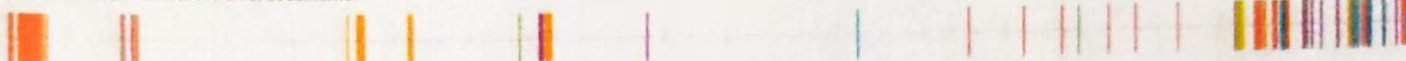
- 10% Similitudes (ignorado)
= 1% similitudes entre cambios
9% entre las fuentes mencionadas
- 8% Idiomas no reconocidos
- 25% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: Tesis completa CORREGIDA.docx
ID del documento: a98224dfeae4b741f7281e002d2913498e62a989
Tamaño del documento original: 9,85 MB

Depositante: Myriam Zambrano Mendoza
Fecha de depósito: 19/1/2026
Tipo de carga: Interface
Fecha de fin de análisis: 19/1/2026

Número de palabras: 12.798
Número de caracteres: 85.823

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.uileam.edu.ec 44 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (311 palabras)
2	repositorio.uileam.edu.ec Implementación de cámara térmica para la evaluación... 27 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (240 palabras)
3	TESIS Anthony Moreira2024-1 (1).docx TESIS Anthony Moreira2024-1 (1) #802947 Viene de de mi grupo 13 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (227 palabras)
4	Maited_C_R_PEPINO_TESISs compl.docx Maited_C_R_PEPINO_TESISs C... #145430 Viene de de mi biblioteca 39 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (240 palabras)
5	TESIS FINAL Balsa DAVID (1).docx TESIS FINAL Balsa DAVID (1) #000114 Viene de de mi biblioteca 26 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (223 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.uileam.edu.ec Implementación de un sistema de peletización en la ... #145430	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (35 palabras)
2	riaa.uaem.mx #145430	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)
3	Documento de otro usuario #145430 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
4	MARCO TEÓRICO- CAMBIO CLIMÁTICOdocx MARCO TEÓRICO- CA... #872400 Viene de de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
5	Documento de otro usuario #145430 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10100>
- <https://redibai-myd.org/portal/wp-content/uploads/2021/12/redreducido.pdf>
- <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.02.08>
- <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/1012>
- <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/8dc4879d-ab78-4986-8b5e-941efa35fd06/content>

