



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**

**Condiciones microclimáticas de producción de hortalizas en macrotunel de
plástico en el trópico húmedo Manabita**

AUTORA: Lisbeth Alejandra Vera Zambrano

TUTORA: Ing. Myriam Zambrano Mendoza, Mg.

El Carmen, enero del 2026

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

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 **Vera Zambrano Lisbeth Alejandra**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, período académico 2025 (2), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto **“Condiciones microclimáticas de producción de hortalizas en macrotunel de plástico en el trópico húmedo Manabita “**

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.

Lo certifico,



Ing. Myriam Elizabeth Zambrano Mendoza, MSc.

Docente Tutora

Área: Agricultura, Silvicultura, Pesca y Veterinaria



**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE
MANABÍ EXTENSIÓN EL CARMEN
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto Integrador, titulado **“Condiciones microclimáticas de producción de hortalizas en macrotunel de plástico en el trópico húmedo Manabita”**, cuya autora **Lisbeth Alejandra Vera Zambrano**, de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria y como Tutora de Trabajo de Titulación la Ing. Myriam Zambrano Mendoza, Mg.

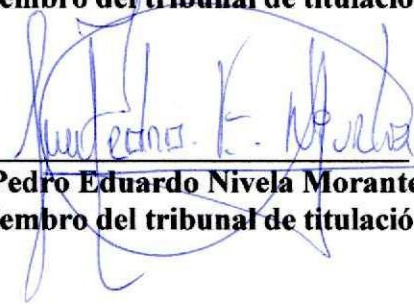
El Carmen, febrero de 2026



Ing. Marco Vinicio De la Cruz Chicaiza, MSc.
Presidente del tribunal de titulación



Ing. Nexar Vismar Cobeña Loor, Mg.
Miembro del tribunal de titulación



Ing. Pedro Eduardo Nivelá Morante, Mg.
Miembro del tribunal de titulación

 **Uleam**



Uleam
Extensión El Carmen

DECLARACIÓN DE AUTORIA

La responsabilidad de este proyecto de Titulación: **“Condiciones microclimáticas de producción de hortalizas en macrotunel de plástico en el trópico húmedo Manabita”** corresponde exclusivamente a **Lisbeth Alejandra Vera Zambrano** con C.I 2300169444 y los derechos patrimoniales del mismo a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

El Carmen – Manabí

Autora

Lisbeth Alejandra Vera Zambrano
C.I 2300169444

 **Uleam**

DEDICATORIA

“No hay barrera, cerradura ni cerrojo que puedas imponer a la libertad de mi mente”

— Virginia Woolf

A Dios

Al creador de todas las cosas, el que siempre me dio las fuerzas para continuar mostrándome que su tiempo siempre es el más perfecto, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y mi camino, Gracias padre amado.

A mis padres Sonia Zambrano & Lelis Vera

Por ser mi pilar fundamental en todo lo que soy, por todos los grandes valores, humildad y sencillez que me enseñaron, por su gran apoyo y sacrificio al inicio de mi carrera a ustedes dedico con mucho amor cada éxito en mi vida.

A mi compañero de vida Gerónimo Armijos

No encuentro palabras para expresar el gran apoyo que me has dado en los últimos años de mi carrera. Pues este logro también es tuyo. Por darme fuerzas y ser mi soporte en mis momentos de debilidad cuando ya me daba por vencida, por ser los brazos que me brindan seguridad y apoyo, junto a ti encontré valentía y determinación para seguir adelante con mis estudios.

A mis hijos Jordán Armijos & Martín Armijos

Quienes son mi mayor inspiración y motivo de lucha constante. Cada paso que doy y cada meta que alcanzo es por y para ustedes. Por haberme enseñado el verdadero significado del amor, la paciencia y la esperanza gracias. Este logro también les pertenece, porque ustedes han sido un pulso en mi vida en cada momento de dificultad.

Lisbeth Alejandra Vera Zambrano

AGRADECIMIENTO

“Un niño, un maestro, un libro y un lápiz pueden cambiar el mundo” —Malala Yousafzai

Agradezco, a Dios, por brindarme la sabiduría y fortaleza necesarias para culminar esta etapa de mi vida.

A mis docentes y asesores, por compartir sus conocimientos, por su orientación académica y por ser parte en mi formación profesional.

A mi familia, por su apoyo incondicional y emocionalmente, por sus palabras de aliento y su fe en mi todo momento. Cada uno de ustedes han sido un pilar fundamental en este logro.

A mi compañero de vida, le agradezco por la fuerza y motivación que me ha dado para poder culminar mis estudios, gracias por el apoyo que me ha brindado durante estos años, por creer y hacerme creer que yo si podía culminar mi carrera profesional a pasitos de tortuga, pero lo logramos los dos.

A mis hijos, por ser mi fuente de inspiración, motivación y amor incondicional, gracias por tenerle paciencia su mamá y por llenar mis días de luz en medio de dificultades, por sacarme una sonrisa cuando me sentía que ya no podía.

A mis compañeros de inicio de la carrera y mis compañeros de finalización de carrera, por el compañerismo brindado y los momentos compartidos que hicieron este camino más llevadero.

Lisbeth Alejandra Vera Zambrano

ÍNDICE

TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	III
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE ANEXOS	VIII
ÍNDICE.....	X
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
CAPÍTULO I	1
1.1 TÍTULO.....	1
1.2 INTRODUCCIÓN.....	1
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3.1 Pregunta de investigación	2
1.4 JUSTIFICACIÓN	3
1.5 OBJETIVOS.....	3
1.6 HIPÓTESIS	4
1.7 METODOLOGÍA.....	4
1.7.1 Localización de la unidad experimental	4
1.7.2 Caracterización climatológica de la zona	5
1.7.3 Materiales y Equipos	5
1.7.4 Variables.....	5
Variables independientes	5
Variables dependientes	6
1.7.5 Métodos	6
1.7.5.1 Método empírico	6

1.7.5.2	Método experimental	6
1.7.6	Análisis estadístico	6
1.7.7	Diseño experimental	7
1.7.8	Manejo del experimento	8
2	CAPÍTULO II	9
2.	MARCO TEÓRICO	9
2.1	Origen y Taxonomía de <i>Cucumis sativus</i> L.....	9
2.1.1	Sistema radicular	9
2.1.2	Tallo principal.....	10
2.1.3	Hoja	10
2.1.4	Flor	10
2.1.5	Fruto	10
1.2.1.	Ciclo fenológico del cultivo del pepino (<i>Cucumis sativus</i>)	11
2.2	Exigencias climáticas del cultivo de pepito.....	11
2.2.1	Temperatura.....	11
2.2.2	Viento	12
2.2.3	Radiación solar	12
2.2.4	Humedad.....	12
2.2.5	Fechas de siembra.....	12
2.2.6	Suelo.....	12
2.2.7	Fertilización	13
2.3	Manejo agronómico integral para el cultivo de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en macrotúneles de plástico	14
2.4	Exigencias lumínicas y termohigrométricas del pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) en sistemas protegidos	15
	CAPÍTULO III	16
	DESARROLLO DE LA PROPUESTA	16

3.1	Descripción del sistema	16
3.2	Diseño y selección de tecnologías a implementar	18
3.3	Plan de implementación.....	19
3.4	Resultados de las condiciones microclimáticas en macrotúneles de plástico y serán en el cultivo de hortalizas de pepino <i>Cucumis sativus</i> L.	20
3.4.1	Altura (cm)	20
3.4.2	Diámetro del tallo (mm)	21
3.4.3	Peso (g), longitud de fruto (cm) y Diámetro (cm).....	22
3.4.4	Resultados de la prueba t de Student para temperatura del aire	25
3.4.5	Resultados de la humedad relativa del aire.....	26
CAPÍTULO IV		28
CONCLUSIONES		28
RECOMENDACIONES.....		29
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		XXXV
ANEXOS.....		XXXV

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características climatológicas de la localidad	5
Tabla 2. <i>Esquema del análisis de varianza</i>	7
Tabla 3. <i>Tratamiento de estudio</i>	7
Tabla 4. <i>Perfil taxonómico y morfológico</i>	9
Tabla 5. Etapa fenológica del Cultivo del Pepino (<i>Cucumis sativus</i>).....	11
Tabla 6. Concentraciones foliares óptimas de nutrientes en pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) para un desarrollo equilibrado y altos rendimientos.....	13
Tabla 7. Comparación de métodos de producción de pepino: principales ventajas y limitaciones	14
Tabla 8. Desglose de gastos de implementación del macrotúnel.....	17
Tabla 9. Altura promedio de plantas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo diferentes sistemas de macrotúnel durante cuatro semanas de evaluación.....	20
Tabla 10. <i>Diámetro del tallo (mm) de plantas de pepino bajo diferentes tratamientos de macrotúnel durante cuatro semanas de evaluación</i>	22
Tabla 11. <i>Parámetros de calidad del fruto (peso, longitud y diámetro) en pepino cultivado bajo diferentes tratamientos de macrotúnel</i>	24
Tabla 12. <i>Comparación de la temperatura media (°C) del aire entre macrotúnel con cubierta plástica y macrotúnel con malla sarán mediante la prueba t de Student</i>	25
Tabla 13. <i>Medidas descriptivas de la temperatura del aire (°C) bajo macrotúnel con cubierta plástica y macrotúnel con malla sarán</i>	26
Tabla 14. <i>Comparación de la humedad relativa del aire (%) entre macrotúnel con cubierta plástica y macrotúnel con malla sarán mediante la prueba t de Student</i>	27
Tabla 15. <i>Medidas descriptivas de la humedad relativa del aire (%)</i>	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de proyecto de investigación	4
Figura 2. Sistema radicular del pepino (ramificado)	9
Figura 3. Flor del pepino (<i>Cucumis sativus</i>).....	10
Figura 4. Instalación de la malla sarán en la estructura del macrotúnel para el establecimiento de plántulas de pepino	18

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Preparación del terreno y trasplante dentro de los macrotúneles.....	XXXV
Anexo 2. Estructura del macrotúnel de plástico.....	XXXV
Anexo 3. Estructura de macrotúnel de sarán.....	XXXV
Anexo 4. Medición del desarrollo de las plantas.....	XXXVI
Anexo 5. Riego manual de las plantas	XXXVI
Anexo 6. Medición de temperatura y humedad relativa.....	XXXVI
Anexo 7. Visita control de la tutora Ing. Myriam	XXXVII
Anexo 8. Desoje de las plantas.....	XXXVII
Anexo 9. Poda de brotes secundarios	XXXVII
Anexo 10. Poda del ápice de la planta.....	XXXVIII
Anexo 11. Cosecha de frutos.....	XXXVIII

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el comportamiento agronómico y microclimático del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistemas de producción protegida en el trópico húmedo manabita. La investigación se desarrolló mediante un Diseño Completamente al Azar (DCA) para las variables agronómicas altura de planta, diámetro del tallo, longitud del fruto, diámetro del fruto y peso del fruto, considerando tratamientos bajo macrotúnel con cubierta plástica y macrotúnel con malla sarán. Para las variables microclimáticas (temperatura del aire y humedad relativa) se aplicó una prueba *t* de Student para muestras independientes. Los resultados agronómicos evidenciaron diferencias altamente significativas entre tratamientos, destacándose el macrotúnel con cubierta plástica, particularmente en la variedad Marketmore, como el sistema con mejor desempeño. Este tratamiento registró la mayor altura de planta ($150,0 \pm 5,7$ cm) y el mayor diámetro del tallo ($7,28 \pm 0,20$ mm) al final del período evaluado. Asimismo, presentó los mejores indicadores productivos, con peso promedio del fruto de $447,7 \pm 33,32$ g, longitud de fruto de $25,00 \pm 1,31$ cm y diámetro de fruto de $56,92 \pm 2,08$ mm, superando a los tratamientos bajo malla sarán. En cuanto al microclima, la prueba *t* indicó que no existieron diferencias estadísticas significativas en la temperatura media del aire entre macrotúnel plástico ($30,93 \pm 0,84$ °C) y macrotúnel con sarán ($30,52 \pm 0,55$ °C). De igual forma, la humedad relativa promedio fue similar entre sistemas, con valores de $71,71 \pm 2,06$ % en plástico y $74,83 \pm 2,35$ % en sarán. Se concluyó que el macrotúnel con cubierta plástica constituyó el tratamiento más eficiente, al favorecer un mayor crecimiento vegetativo y mejores características del fruto sin generar condiciones microclimáticas adversas.

Palabras claves: Pepino, macrotúnel, rendimiento, microclima, sanidad vegetal.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the agronomic and microclimatic performance of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under protected production systems in the humid tropics of Manabí. The research was conducted using a Completely Randomized Design (CRD) for the agronomic variables plant height, stem diameter, fruit length, fruit diameter, and fruit weight, considering treatments under a plastic-covered macrotunnel and a shade-net (saran) macrotunnel. For the microclimatic variables (air temperature and relative humidity), a Student's t test for independent samples was applied. The agronomic results showed highly significant differences among treatments, with the plastic-covered macrotunnel, particularly for the Marketmore variety, exhibiting the best performance. This treatment recorded the greatest plant height (150.0 ± 5.7 cm) and stem diameter (7.28 ± 0.20 mm) at the end of the evaluation period. In addition, it achieved superior productive indicators, with an average fruit weight of 447.7 ± 33.32 g, fruit length of 25.00 ± 1.31 cm, and fruit diameter of 56.92 ± 2.08 mm, outperforming the shade-net macrotunnel treatments. Regarding the microclimate, the t test indicated no statistically significant differences in mean air temperature between the plastic macrotunnel (30.93 ± 0.84 °C) and the shade-net macrotunnel (30.52 ± 0.55 °C). Similarly, relative humidity did not differ significantly between systems, with mean values of 71.71 ± 2.06 % under plastic and 74.83 ± 2.35 % under shade netting. It was concluded that the plastic-covered macrotunnel was the most efficient system, as it promoted greater vegetative growth and superior fruit characteristics without generating adverse microclimatic conditions.

Keywords: Microclimate; Macrotunnel; Cucumber; Productivity; Humid tropics.

CAPÍTULO I

1.1 TÍTULO

Condiciones microclimáticas de producción de hortalizas en macrotunel de plástico en el trópico húmedo Manabita.

1.2 INTRODUCCIÓN

Entre 2005 y 2015, naciones como Perú, Chile, Ecuador y Colombia mostraron un desarrollo positivo en la producción de frutas y verduras. Este avance se reflejó en el incremento de las exportaciones de productos hortofrutícolas, que tuvo un crecimiento anual promedio del 4,2% (Barraza, 2017). Por otro lado, las cadenas productivas de frutas y verduras en los países de Centroamérica sufrieron pérdidas significativas en sus etapas y sistemas de producción, ocasionadas por sequías, plagas, enfermedades y condiciones climáticas adversas (Soza, 2023).

Esta situación en Centroamérica fue relevante, ya que promovió el crecimiento de la producción hortofrutícola en Sudamérica. No obstante, resultó ineludible una disminución general en el dinamismo de las exportaciones agroalimentarias de la región latinoamericana (Aviles, 2022).

Los objetivos de la agricultura de precisión apuntan a fortalecer la sostenibilidad social, ambiental y económica de los productores de una región, mientras que la agricultura tradicional consideraba el campo como un espacio similar, hoy en día se ha estudiado al suelo que consideramos para su producción no solo factores ambientales, sino también los de crecimiento poblacional, limitación de recursos, entre otros, que representan grandes desafíos para la productividad agrícola haciendo necesario proponer soluciones efectivas e innovadoras (Aviles, 2022; Soza, 2023). La agricultura de precisión es la aplicación de tecnologías y principios para el manejo de la variabilidad espacial y temporal asociada a todos los aspectos de la producción agrícola con el propósito de mejorar la productividad del cultivo y la calidad ambiental (Čepulienė et al., 2022)

En la historia de la agricultura, los campesinos siempre han dado importancia a otra especie de la naturaleza que ayudan o dificultan la producción de hortalizas (Chacón-Padilla & Monge-Pérez, 2020). En los casos en que ciertas especies son observadas como fuentes dañinas para los cultivos de hortalizas, sin embargo, los productores han desarrollado métodos de control para asegurar la productividad y calidad de los cultivos de hortalizas (Kaur & Sharma, 2022).

La producción de hortalizas se ha caracterizado por la gravedad de los problemas fitosanitarios y el uso intensivo de plaguicidas para tratar de controlar plagas y enfermedades que generalmente varían de acuerdo con el tipo de hortalizas, zona de producción y clima. Las plagas que más afectan son: áfidos, moscas minadoras, moscas blancas, gusanos noctuidos, ácaros, trips, babosas y entre otras más especies dañinas (Henríquez-Díaz et al., 2020a).

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años, la provincia de Manabí, que se encuentra en la región litoral del Ecuador, ha presentado varios cambios en su clima, especialmente en zonas del trópico húmedo. Se han dado periodos de sequía muy fuertes, como en el año 2022, y luego lluvias intensas con inundaciones, principalmente en 2023 y 2024 (Chacón-Padilla & Monge-Pérez, 2020).

Estos cambios han afectado bastante a la agricultura, porque bajó la productividad y también se dañó la salud de los cultivos de hortalizas. Además, las condiciones del clima han favorecido la aparición de plagas, hongos, bacterias y el desgaste del suelo, lo que ha hecho más difícil mantener una producción estable en cultivos a cielo abierto (Henríquez-Díaz et al., 2020b).

Ante esta situación, varios agricultores han empezado a usar métodos de agricultura protegida, como los macro túneles de plástico, que ayudan a modificar el ambiente donde crecen los cultivos, creando un clima más controlado (Bojacá et al., 2012). Estos sistemas han demostrado que pueden disminuir los efectos negativos de las lluvias, controlar mejor la temperatura y la humedad, y reducir las enfermedades, permitiendo un mejor desarrollo de las plantas (Díaz, 2017).

Sin embargo, en una zona como el trópico húmedo de Manabí, donde el clima es muy cambiante y fuerte, todavía no se sabe con certeza qué tan efectivos son estos sistemas. Por eso, es importante investigar más sobre cómo influyen estas condiciones creadas dentro de los macro túneles en el crecimiento y producción de las hortalizas en esta región.

1.3.1 Pregunta de investigación

¿Cómo influyen las condiciones micro climáticas generadas dentro de macro túneles de plástico y serán en el trópico húmedo manabita sobre el desarrollo y rendimiento de hortaliza de pepino (*Cucumis sativus L.*)?

1.4 JUSTIFICACIÓN

Por las variaciones climáticas en el trópico húmedo manabita como lluvias excesivas, temperaturas muy elevadas, vientos fuertes y radiación solar, son factores que por lo general pueden afectar relativamente a la producción de hortalizas como, baja productividad y daños de salud de los cultivos (plagas, hongos y desgastes de suelo). El uso de protección como los macro túneles de plástico y sarán será muy conveniente para una agricultura sostenible y sustentable para mejorar las condiciones micro climáticas y optimizar el desarrollo de los cultivos de hortalizas (Bojacá et al., 2012).

Lo que se pretende es que por medio del macro túnel de plástico y sarán se pueda modificar las condiciones micro climáticas interno, para generar un ambiente más controlado y favorables para el buen crecimiento de las hortalizas de pepino (*sativus* L.).

El proyecto se lo realizó, con el fin de observar lo que puede brindar y obtener el alcance que puede llegar a tener los macros túneles de plástico y sarán, donde se llevó el debido monitoreo de las condiciones micro climáticas, su debido control biológico y el monitoreo del manejo integrado de plagas (MIP). Dentro de la agricultura esta tecnología se convierte accesible tanto para pequeños y grandes productores (Ayala-Tafoya et al., 2019). Su implementación ayuda con la seguridad alimentaria, la rentabilidad y la resiliencia frente al cambio climático que se encuentra en el trópico húmedo manabita (Barraza-Álvarez, 2015).

Por tal razón, la presente investigación deberá proveer información de la utilización de macro túneles por las condiciones micro climáticas, el control biológico en las hortalizas de pepino (*sativus* L.) y el control de posibles plagas y enfermedades que podrían llegar afectar a los cultivos. Para ello se tomará en cuenta la temperatura, humedad, radiación solar y ventilación, para de esa forma poder brindar información más específica de los beneficios de usos de macro túneles de plástico para el cultivo de hortalizas (Díaz, 2017).

1.5 OBJETIVOS

i) Objetivo general

Diferenciar el efecto de las condiciones micro climáticas dentro del macro túnel de plástico y sarán sobre el desarrollo, rendimiento y sanidad de las hortalizas de pepino (*Cucumis sativus* L.), cultivadas en el trópico húmedo manabita.

ii) Objetivos específicos

- Caracterizar las condiciones micro climáticas (temperatura, humedad relativa, radiación solar y ventilación) dentro del macro túnel de plástico en comparación con el microclima del macro túnel de sarán del trópico húmedo manabita.
- Monitoreo de posibles plagas y enfermedades dentro de macro túnel de plástico y sarán en la hortaliza de pepino (*Cucumis sativus* L).

1.6 HIPÓTESIS

Hipótesis alterna: El uso de macro túneles de plástico y sarán en las condiciones micro climáticas favorecerá en la producción de hortalizas de pepino (*Cucumis sativus* L), en el trópico húmedo manabita.

Hipótesis nula: El uso de macro túneles de plástico y sarán en las condiciones micro climáticas no favorecerá en la producción de hortalizas de pepino (*Cucumis sativus* L), en el trópico húmedo manabita.

1.7 METODOLOGÍA

1.7.1 Localización de la unidad experimental

La investigación se realizó en la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí Extensión en El Carmen, comprendiendo en el periodo del año 2025 en los últimos meses septiembre a noviembre.

Figura 1. Localización de proyecto de investigación



Nota. Tomado de Google Maps, (2025).

1.7.2 Caracterización climatológica de la zona

A continuación, algunas características climáticas del cantón:

Tabla 1. *Características climatológicas 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)	249
Nota. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2022)	

1.7.3 Materiales y Equipos

Materiales para establecimiento y manejo de macrotúneles de pepino

- Semillas de *Cucumis sativus* L. (pepino) certificadas
- Bandejas de germinación de 128 cavidades
- Sustrato para germinación (mezcla turba: perlita, 3: 1)
- Macrotúnel con cubierta de polietileno (200 µm, UV-estabilizado)
- Macrotúnel con cubierta de malla sombra (50 % sombreo)
- Herramientas de medición y registro:
 - Regla milimétrica
 - Calibre digital (0,01 mm)
 - Balanza de precisión (±0,01 g)
 - Termohigrómetro con datalogger
- Software para análisis de datos:
 - R Studio (versión ≥ 4.0)

1.7.4 Variables

Variables independientes

Tipo de cubierta del macrotúnel (categoría):

- Plástico
- Sarán

Variables dependientes

- Desarrollo de las plantas
- Rendimiento de los frutos
- Sanidad del cultivo
- Condición micro climática (T° y HR)

1.7.5 Métodos

1.7.5.1 Método empírico

Se aplicó el método empírico mediante observación directa del desarrollo de las plántulas de pepino en los dos tipos de macrotúnel (plástico y sarán). Esta aproximación permitió recolectar datos cuantificables altura de planta, número de hojas y área foliar y cualitativos apariencia general y signos iniciales de fitopatías, favoreciendo la interpretación real del comportamiento vegetal bajo las condiciones microclimáticas específicas de cada cubierta (Hidalgo, 2005).

1.7.5.2 Método experimental

El estudio siguió un diseño experimental de campo para evaluar el efecto del tipo de cubierta (plástico vs. sarán) sobre las variables dependientes de desarrollo vegetativo, rendimiento y sanidad. Se mantuvieron constantes la densidad de siembra, la fórmula de fertilización y el manejo de plagas, mientras que el factor experimental (tipo de cubierta) se asignó al azar a cada unidad experimental. Este enfoque permitió aislar el impacto microclimático derivado de cada material de cobertura sobre la respuesta agronómica del pepino (Arias, 2012).

1.7.6 Análisis estadístico

Para las variables agronómicas altura de planta, diámetro del tallo, longitud del fruto, diámetro del fruto y peso del fruto, los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al Diseño Completamente al Azar (DCA). Cuando se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, las medias fueron comparadas mediante una prueba de comparación múltiple, utilizando un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

Para las variables microclimáticas temperatura del aire y humedad relativa, se aplicó una prueba t de Student para muestras independientes, con el propósito de comparar los valores

promedio registrados en el macrotúnel con cubierta plástica y el macrotúnel con malla sarán. Previamente, se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Todos los análisis estadísticos se realizaron empleando software estadístico especializado.

Tabla 2. *Esquema del análisis de varianza*

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	15
Genotipos	3
Error	12

1.7.7 Diseño experimental

La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental, aplicando un Diseño Completamente al Azar (DCA), con el objetivo de evaluar el efecto de cuatro tratamientos sobre el comportamiento agronómico del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.). Se consideraron cuatro tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento, conformándose un total de 16 unidades experimentales.

Los tratamientos estuvieron definidos por la combinación del sistema de cobertura (macrotúnel con plástico agrícola y macrotúnel con malla sarán al 35 % de sombra) y la variedad de pepino (Marketmore y Jaguar). Cada unidad experimental estuvo constituida por una cama de cultivo manejada bajo condiciones homogéneas de riego por goteo, fertilización y manejo agronómico.

La asignación de los tratamientos a las unidades experimentales se realizó de manera completamente aleatoria, con el fin de minimizar el efecto de fuentes externas de variación y garantizar la validez estadística de los resultados.

Tabla 3. *Tratamiento de estudio*

Tratamiento	Sistema de cultivo	Tipo de cobertura	Variedad
T1	Macrotúnel	Plástico agrícola	Marketmore
T2	Macrotúnel	Plástico agrícola	Jaguar
T3	Macrotúnel	Malla sarán (35 % sombra)	Marketmore
T4	Macrotúnel	Malla sarán (35 % sombra)	Jaguar

1.7.8 Manejo del experimento

Para la instalación del macrotúnel se seleccionó previamente un terreno nivelado y con buen drenaje, del que se eliminaron malezas y restos de cultivos; a continuación, se marcaron las dimensiones (6 m de ancho por 10 m de largo) con estacas y cordel. Se clavaron estacas de acero cada 1,5 m a lo largo de los costados y se ensamblaron los arcos con tubos galvanizados, asegurándolos con codos y cruces. Una vez erigida la estructura, se colocó la lámina de polietileno de 200 μm debidamente tensada, fijándola a la armazón con cintas de polipropileno para evitar la formación de bolsas de agua; de igual manera, en el macrotúnel paralelo se cubrió la estructura con malla sombra al 50 %.

La producción de plántulas de pepino se llevó a cabo en bandejas de 128 cavidades con sustrato compuesto por turba y perlita en proporción 3:1. Tras la germinación bajo sombra parcial (50 %) durante siete a diez días, las plántulas fueron sometidas a una aclimatación progresiva reduciendo la cobertura en los tres días previos al trasplante. En campo, se trazaron surcos con una distancia de 1 m entre hileras y 0,80 m entre plantas, y se realizaron hoyos de 5 cm de profundidad en los que se colocaron cuidadosamente las plántulas para luego cubrirlas y compactar ligeramente el sustrato.

El primer riego se efectuó inmediatamente después del trasplante en el macrotúnel, programándose tres ciclos por semana; Durante el cultivo se realizó diariamente el funcionamiento del sistema de riego manual y semanalmente se inspeccionaron las plantas para identificar la presencia de plagas ácaros, pulgones o síntomas de enfermedades fúngicas, implementando en caso necesario tratamientos biológicos o químicos autorizados. Una vez las plantas alcanzaron los 30 cm de altura se dispuso un entutorado con cuerdas colgantes y se procedió a la eliminación de brotes laterales para concentrar el crecimiento en el tallo principal y optimizar la formación de frutos.

La recolección de datos se efectuó a los 42, 49, 56 y 63 días después del trasplante. Para evaluar el desarrollo vegetativo se midió la altura de cada planta desde la base del tallo hasta la punta del brote principal con regla milimétrica, se midió el diámetro del tallo con un calibrador digital y se tomó datos de la temperatura y humedad relativa con un termohigrómetro. En cuanto al rendimiento, se registró el número total de frutos por planta, el peso promedio de una muestra aleatoria de diez frutos y el rendimiento por metro cuadrado, calculado a partir del peso total de frutos cosechados en cada parcela.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Origen y Taxonomía de *Cucumis sativus* L

Diversos estudios señalan que el pepino (*Cucumis sativus*L.) se domestica desde hace más de tres mil años en el sur de Asia tropical, donde evolucionó a partir de formas silvestres. Desde la India se difundió hacia Roma y, posteriormente, a China; los hortelanos romanos impulsaron su introducción en el resto de Europa, con evidencias de cultivo en Francia, Inglaterra y Norteamérica (Díaz-Ayala, 2017).

Tabla 4. *Perfil taxonómico y morfológico*

Rango taxonómico	Clasificación
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Cucurbitales</i>
Familia	<i>Cucurbitaceae</i>
Género	<i>Cucumis</i> L.
Especie	<i>C. sativus</i> L.

Nota: tomado de Díaz-Ayala (2017).

2.1.1 Sistema radicular

Según la Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria (2009), *Cucumis sativus* L. desarrolla un sistema radicular vigoroso que consta de una raíz primaria bien definida y numerosas raíces secundarias superficiales, finas y alargadas, de color blanquecino. Además, esta especie tiene la capacidad de emitir raíces adventicias a lo largo del cuello del tallo, lo cual contribuye a su alta absorción de agua y nutrientes (Bojacá et al., 2012).



Figura 2. Sistema radicular del pepino (ramificado)

Nota. tomado de InfoAgro (2022)

2.1.2 Tallo principal

El tallo de pepino es anguloso, provisto de pequeños tricomas rígidos y de hábito rastrero o trepador según el cultivar (Meneses-Fernández & Quesada-Roldán, 2018). De cada nudo emergen un pecíolo foliar y un zarcillo de sujeción; en las axilas foliares se originan brotes laterales y floraciones, lo que favorece la ramificación y la producción de frutos a lo largo de la guía principal (Henríquez-Díaz et al., 2020b).

2.1.3 Hoja

Las hojas presentan un pecíolo alargado que sostiene un limbo acorazonado dividido en tres lóbulos, siendo el central el más pronunciado y a menudo apuntado (Díaz-Ayala, 2017). La superficie foliar, de color verde intenso, está cubierta por tricomas cortos y finos, que protegen al órgano de la desecación y ayudan a regular la transpiración (Henríquez-Díaz et al., 2020b).

2.1.4 Flor

De acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2006), las flores de pepino tienen un pedúnculo corto y pétalos amarillos (Díaz-Ayala, 2017). En los cultivares tradicionales monoicos se presentan flores masculinas y femeninas por separado, mientras que en las variedades comerciales actuales predominan las plantas ginoicas, que sólo producen flores femeninas provistas de un ovario ínfero, lo cual facilita la formación de frutos partenocárpicos (Meneses-Fernández & Quesada-Roldán, 2018).



Figura 3. *Flor del pepino (Cucumis sativus)*

Nota. tomado de InfoAgro (2022)

2.1.5 Fruto

CONABIO (2006) describe el fruto como una pepónide cuya superficie puede ser lisa o verrugosa según la variedad. Su color varía desde verde claro hasta verde oscuro, tornándose amarillento únicamente si se deja madurar completamente, aunque la cosecha se realiza en

estado inmaduro para asegurar textura y sabor adecuados (Meneses-Fernández & Quesada-Roldán, 2018). La pulpa es acuosa, de tono blanquecino, y encierra semillas ovoides, aplanadas y blanco-amarillentas, distribuidas longitudinalmente en cavidades internas (Bojacá et al., 2012).

1.2.1. Ciclo fenológico del cultivo del pepino (*Cucumis sativus*)

El pepino es un cultivo de ciclo corto, cuya duración puede variar según la región en la que se establezca. Estas variaciones están determinadas por factores edafoclimáticos específicos como las características del suelo y el clima, además de las prácticas agronómicas implementadas durante su manejo (Sánchez et al., 2014).

Tabla 5. *Etapas fenológicas del Cultivo del Pepino (Cucumis sativus)*

Etapas Fenológicas	Días después de la siembra
Emergencia	4-5
Inicio de emisión de guías	15 - 24
Inicio de floración	27 - 34
Inicio de cosecha	43 - 50
Fin de cosecha	75 - 90

Nota. Tomado de Mendoza (2017).

2.2 Exigencias climáticas del cultivo de pepino

El pepino (*Cucumis sativus* L.) demanda un control integrado de factores climáticos para maximizar su desarrollo, rendimiento y calidad de fruto. Aunque tradicionalmente se cultiva en verano, la extensión de los invernaderos ha permitido su oferta continua durante todo el año (Bojacá et al., 2012).

2.2.1 Temperatura

El rango óptimo diurno se ubica entre 18 °C y 30 °C, mientras que por debajo de 14 °C el crecimiento se detiene y a -1 °C se registran daños por heladas. Para una germinación eficiente, las semillas requieren 20–25 °C de día y 18–22 °C de noche (Henríquez-Díaz et al., 2020b). Se ha reportado que las temperaturas diurnas de 20–25 °C aceleran la floración temprana, pero por encima de 30 °C se producen desequilibrios en fotosíntesis y respiración, y las noches con menos de 17 °C afectan la morfología foliar y de los frutos; el límite nocturno crítico es 12 °C y el estrés térmico extremo por debajo de 1 °C provoca marchitamiento irreversible (Meneses-Fernández & Quesada-Roldán, 2018).

2.2.2 Viento

La exposición prolongada a rachas superiores a 30 km/h incrementa la transpiración, reduce la humedad relativa y eleva la demanda hídrica, lo que dificulta la fecundación de los estilos florales (Espinoza-Ronquillo, 2022). Además, el viento constante reduce el vigor vegetativo, acelera la senescencia y ocasiona daños mecánicos en hojas, flores y frutos (Ayala-Tafoya et al., 2019). Por ello, se recomienda la instalación de barreras rompevientos o la selección de sitios protegidos (Alvarado-Carrillo et al., 2018).

2.2.3 Radiación solar

El pepino prospera con altos niveles de luz; aunque tolera días cortos (< 12 h de sol), la producción aumenta de manera proporcional a la radiación incidente. Una elevada intensidad lumínica favorece la polinización y fructificación, por lo que es aconsejable ubicar el cultivo en áreas con mínima sombra (Henríquez-Díaz et al., 2020b)

2.2.4 Humedad

Dado su amplio follaje, el pepino requiere humedad relativa diurna de 60–70 % y nocturna de 70–90 %. Excesos durante el día pueden disminuir la transpiración y, por ende, la fotosíntesis, aunque esta situación es poco frecuente. En la etapa de cosecha, la alta humedad favorece enfermedades fúngicas (Espinoza-Ronquillo, 2022). Para el desarrollo radicular, el suelo debe mantenerse en 70–80 % de la capacidad de campo, y el aire en 80–90 % de humedad; déficit hídrico provoca frutos deformes y subdesarrollados (Alvarado-Carrillo et al., 2018).

2.2.5 Fechas de siembra

Aunque es adaptable a climas templado-cálidos y puede establecerse todo el año con riego adecuado, los rendimientos máximos suelen obtenerse de mayo a julio (INIFAP, 1996). El ciclo otoño-invierno aporta el 68 % de la producción nacional, en tanto que primavera-verano representa el 32 % restante; en el periodo feb-abr se concentra el 44 % de la cosecha (Gonzalez, 2021).

2.2.6 Suelo

El pepino crece bien en suelos franco-arcillosos con buen drenaje y alto contenido de materia orgánica, con profundidad efectiva mínima de 60 cm para favorecer el desarrollo radicular (Juárez-López et al., 2025). Prefiere pH neutro de 6,5–7,8, evitando suelos ácidos (<5,5)

(Alvarado-Carrillo et al., 2018). Posee tolerancia moderada a la salinidad; concentraciones elevadas de sales reducen la captación de agua, debilitando tallo y hojas y provocando frutos torcidos, mientras que salinidad muy baja estimula un crecimiento excesivo con mayor susceptibilidad a enfermedades (Alejo-Santiago et al., 2021).

2.2.7 Fertilización

El pepino (*Cucumis sativus* L.) demanda un programa de nutrición balanceado que combine la aplicación basal de macronutrientes con aportes periódicos vía fertirriego de sales altamente solubles y micronutrientes esenciales. Antes del trasplante, se incorporan al suelo 50 kg de N, 150 kg de P₂O₅ y 250 kg de K₂O por hectárea, ajustando las dosis según el análisis de fertilidad previo (Meneses-Fernández & Quesada-Roldán, 2018). Durante las primeras semanas de crecimiento se recomienda suministrar 2,5–5 kg ha⁻¹ de nitrógeno semanalmente, incrementando a 12,5–15 kg ha⁻¹ en etapas de producción plena para sostener el intenso desarrollo vegetativo y la formación de frutos (Erreyes-Jara et al., 2023)

Para el fertirriego se emplean sales como nitrato de potasio (12 % N), nitrato de calcio (16 % N) o nitrato de amonio (33 % N), complementadas con quelatos de hierro, zinc y manganeso para prevenir deficiencias micronutricionales. Además, es fundamental realizar un análisis del agua de riego pH, CE y contenido de sales para formular con precisión la solución nutritiva (Espinoza-Ronquillo, 2022).

Tabla 6. Concentraciones foliares óptimas de nutrientes en pepino (*Cucumis sativus* L.) para un desarrollo equilibrado y altos rendimientos

Nutriente	Concentración en tejido foliar (ppm)
N (NO ₃ -N)	2 500 – 4 500
P (PO ₄ -P)	300 – 700
K	2 500 – 4 000
Ca	2 500 – 5 000
Mg	300 – 1 500
S	300 – 1 000
Fe	50 – 300
Zn	20 – 100
Cu	8 – 20
Mn	60 – 400
Mo	0,5 – 2
B	30 – 70

Nota: tomado de Espinoza-Ronquillo (2022).

2.3 Manejo agronómico integral para el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*L.) en macrotúneles de plástico

En el análisis de los fundamentos agronómicos para el cultivo de pepino en macrotúneles bajo condiciones de trópico húmedo, diversos autores han destacado la importancia de la preparación del sustrato, el manejo del riego, la cosecha y la nutrición orgánica como pilares para optimizar rendimiento y calidad (Adame-García et al., 2024).

Según el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 1996), la nivelación del terreno y la incorporación de enmiendas orgánicas como compost maduro y vermicompost a razón de 5 kg m⁻² son prácticas esenciales para mejorar la estructura del suelo y estimular la actividad microbiana, factores clave en la retención de humedad y disponibilidad de nutrientes (Elizabeth-Castillo, 2015).

Reyes-González (2012) enfatiza que, en sistemas protegidos, el riego por goteo no solo cubre las necesidades hídricas, sino que también actúa como vía de suministro eficiente de nutrientes. Los sistemas que emplean goteros de 2 L h⁻¹ espaciados cada 30 cm y depósitos elevados de alrededor de 500 L permiten dosificar agua de forma diaria y progresiva, previniendo estrés hídrico y favoreciendo un desarrollo vegetativo uniforme (Cifuentes et al., 2014)

Tabla 7. Comparación de métodos de producción de pepino: principales ventajas y limitaciones

Método de producción	Ventajas principales	Limitaciones principales
Macrotúnel de plástico	- Extiende la temporada de cultivo al controlar temperatura y humedad. - Protección contra lluvias intensas y vientos fuertes. - Reducción de incidencia de plagas y enfermedades foliares.	- Inversión inicial elevada en estructura y cubiertas. - Requiere manejo activo de ventilación y microclima. - Costo de mantención (reemplazo de láminas, control de condensación).
Macrotúnel con malla sombra (sarán)	- Reduce estrés por radiación y calor excesivo. - Menor costo de cubierta comparado con plástico. - Mejora la uniformidad lumínica y reduce quemaduras foliares.	- No protege ante lluvias ni vientos intensos. - Menor control de temperatura y humedad que el plástico. - Puede favorecer proliferación de hongos en alta humedad.
Campo abierto	- Costos de instalación y operación bajos. - Aprovecha lluvias naturales y ventilación libre. - Fácil acceso para labores culturales y cosecha.	- Mayor exposición a estrés climático (heladas, sequías, lluvias). - Alta presión de malezas, plagas y enfermedades.

Nota. Tomado de Sánchez-González (2022)^a; Cartes-Rodríguez et al. (2019)^b; Hurtado Santana, (2023)^c

En cuanto a la cosecha, el Centro de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2015) recomienda la recolección manual de frutos cuyas semillas presenten aún textura tierna, criterio que garantiza firmeza y atributos comerciales óptimos. Estos frutos pueden conservarse a temperaturas de 7–10 °C y humedad relativa de 90–95 % durante 10–14 días, prolongando su vida postcosecha (Meneses-Fernández & Quesada-Roldán, 2018).

Para la nutrición orgánica, Arias (2007) propone la aplicación de purín de estiércol bovino diluido (1:10 v/v) y extracto de algas marinas (2 mL L⁻¹) a través del sistema de riego en los estadios iniciales del cultivo. Estas prácticas aseguran un aporte constante de elementos esenciales y mejoran la porosidad del sustrato, promoviendo tanto la radiculación como la resistencia al estrés ambiental (Gonzalez, 2021).

2.4 Exigencias lumínicas y termohigrométricas del pepino (*Cucumis sativus* L.) en sistemas protegidos

Diversos autores han señalado que el pepino europeo requiere un balance cuidadoso de luz, temperatura y humedad para optimizar su productividad en macrotúneles. En cuanto al fotoperiodo, Sánchez-González (2022), indicó que la especie puede germinar y crecer con apenas 10,5 horas diarias de luz, pero alcanza su máxima fotosíntesis y rendimiento cuando se expone a irradiancias elevadas durante jornadas prolongadas. Para mantener la actividad fotosintética dentro del invernadero es aconsejable proporcionar al menos 12 horas de luz, idealmente con niveles superiores a 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Cifuentes et al., 2014).

La termoperiodicidad ejerce una influencia decisiva: las semillas germinan entre 12 °C y 35 °C óptimo 25–30 °C, mientras que en la fase vegetativa el rango ideal es de 20–35 °C, restringido a 23–25 °C de día y 18–20 °C de noche. Temperaturas nocturnas por debajo de 17 °C pueden provocar malformaciones foliares y en los frutos, y el crecimiento se paraliza alrededor de 15 °C, con daños irreversibles al descender de 1 °C (Gonzalez, 2021).

Asimismo, un sustrato con temperatura mínima de 12 °C y óptima de 18–20 °C favorece el enraizamiento, mientras que un pH entre 6,0 y 7,2 asegura la disponibilidad de nutrientes. La humedad relativa recomendada oscila entre 70 % y 90 % para minimizar estrés hídrico y limitar enfermedades fúngicas bajo cubierta.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1 Descripción del sistema

El macrotúnel de plástico y sarán se presentó dimensiones de 9 m por 9 m (81 m²) y fue construido sobre una superficie nivelada, con cimientos puntuales de concreto simple, lo que garantizó una adecuada estabilidad y una distribución equilibrada de las cargas estructurales.

La estructura metálica estuvo conformada por arcos de acero galvanizado de 2 pulgadas de diámetro, ensamblados con conectores de 45° y unidos entre sí mediante correas longitudinales que reforzaron su rigidez. La base de anclaje se fijó con una mezcla de cemento Portland, arena y ripio, proporcionando solidez frente a la tensión del material de cobertura y la acción del viento.

La malla sarán, con una capacidad de sombreado del 35 %, elaborada en polietileno de alta densidad (HDPE) con protección UV, permitió el paso regulado de la radiación solar, favoreciendo una ventilación cruzada natural y la generación de un microclima estable dentro del macrotúnel. El macrotúnel se localizó en un área con exposición solar directa, registrando una temperatura media ambiental de 23 ± 2 °C. La elección de materiales duraderos y de bajo mantenimiento permitió mantener condiciones homogéneas durante todo el período experimental, asegurando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

La cobertura con plástico agrícola de polietileno de alta densidad (HDPE) con protección UV, el cual permitió el paso controlado de la radiación solar, favoreciendo el desarrollo vegetativo del pepino y reduciendo las fluctuaciones térmicas internas. El sistema contó con ventilación natural lateral, lo que facilitó la renovación del aire y el control de la humedad relativa, factores clave para prevenir enfermedades fúngicas en el cultivo.

El costo total estimado para la implementación del macrotúnel de plástico y sarán fue de USD 1.580,34, valor que incluye el IVA del 15%. El subtotal del proyecto alcanzó los USD 1.397,69, evidenciando una estructura de costos dominada principalmente por los materiales de coberturas y los componentes estructurales.

Los materiales de cobertura representaron el rubro de mayor incidencia económica, alcanzando aproximadamente el 46,4% del costo total. Dentro de este grupo, el plástico agrícola

en sus diferentes dimensiones concentro alrededor del 36.6%, mientras que la malla sarán al 35% de sombra utilizada para la regulación de la radiación solar, aportó cerca del 10,4% del presupuesto total. Los elementos estructurales conformados por tubos galvanizados de 2" codos galvanizados y materiales de anclaje (cemento y arena), representaron aproximadamente del 18,0% del costo total, garantizando estabilidad, resistencia y durabilidad del macrotúnel. Los elementos como unión y fijación, tales como abrazaderas metálicas cables acerados, tornillos y tuercas, concentraron alrededor del 6,0% siendo fundamentales para el correcto ensamblaje y tensado de la estructura. La mano de obra destinada al montaje estructural correspondió al 7,6% del presupuesto, el transporte de materiales representó un 1,6% constituyéndose como un costo operativo menor.

Finalmente, la adquisición de un termohigrómetro, empleado para el monitoreo de temperatura y humedad relativa dentro del macrotúnel representó aproximadamente el 9,5% del costo total, destacándose como un elemento esencial para el control de las condiciones microclimáticas y la toma de decisiones agronómicas.

Tabla 8. *Desglose de gastos de implementación del macrotúnel y termohigrómetro*

Ítem	Especificación	Cantidad	Costo unitario (USD)	Subtotal (USD)
Tubo galvanizado 2" (6 m)	Arcos + correas + arriostres	24	9,5	228
Codos galvanizados 45°	Uniones de tubo	10	3	30
Abrazaderas metálicas	Fijación de cobertura	120	0,4	48
Cable acerado 3/16"	Tensado y amarres	46	0,75	34,5
Tornillos + tuerca 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	22	6,6
Malla sarán 35 %	89,1 m ² × 1,85 USD/m ²	89,1	1,85	164,84
Plástico	6 m ancho x 50 m largo	2	3.21	337.05
Plástico	8 m de ancho x 50 m largo	1	3.21	224.70
Mano de obra	Montaje (4 jornales)	4	30	120
Transporte	Flete local	1	25	25
termohigrómetro	Medidor de °C & Hr%	1	150	150
Subtotal				1.397,69
IVA 15 %				182.65
TOTAL				1.580,34

3.2 Diseño y selección de tecnologías a implementar

El sistema tecnológico se basó en la construcción de un macrotúnel de malla sarán al 35 % de sombra, diseñado para crear un ambiente moderadamente protegido que favoreciera el crecimiento de las plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.), variedades Marketmore y Jaguar.

La elección de esta estructura se sustentó en su capacidad para regular la radiación solar, mantener una temperatura interna estable y facilitar la ventilación natural, condiciones esenciales para el crecimiento uniforme de las plantas.

Figura 4. *Instalación de la malla sarán en la estructura del macrotúnel para el establecimiento de plántulas de pepino*



3.3 Plan de implementación

Descripción	Funcionamiento	Imagen
Preparación del terreno y trasplante dentro de los macrotúneles	Se elaboró una mezcla compuesta por tierra de cacao, cal agrícola, cascarilla de arroz y biocompost en proporción 2:1:1:1. El material se homogenizó y se dejó en reposo durante cinco días para estabilizar la temperatura y reducir la carga microbiana, asegurando una textura suelta y buena aireación.	
Estructura del macrotúnel de plástico	Se instaló un macrotúnel de 9 × 9 m (81 m²) cubierto con plástico agrícola, sostenido por arcos de tubo galvanizado de 2" de diámetro. La estructura se cimentó con concreto simple y se orientó de norte a sur para favorecer la ventilación natural y la regulación térmica.	
Medición del desarrollo de las plantas	La medición se realizó de forma periódica, registrando las variables como altura, grosor, presencia de flores y furtos. Este proceso facilitó la identificación de etapas fenológicas, asegurando un manejo agronómico adecuado para obtener altos rendimientos de fruto y buena calidad.	
Riego manual 3 ciclos por semana	Durante el cultivo se realizó diariamente el funcionamiento del sistema de riego manual y semanalmente se inspeccionaron las plantas para identificar la presencia de plagas ácaros, pulgones o síntomas de enfermedades fúngicas, implementando en caso necesario tratamientos biológicos o químicos autorizados.	
Temperatura y humedad relativa	La medición se realizó mediante termohigrómetros ubicándose dentro del área de los pepinos. Registrando la temperatura ambiente y humedad relativa por unos tres ciclos cada semana. Estos datos nos permitieron ajustar el riego manual para mantener en condiciones óptimas el cultivo, para el crecimiento saludable de las plantas.	

3.4 RESULTADOS.

3.4.1 Altura (cm)

La variable altura de planta presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en todas las semanas de evaluación. En la semana 1 se observaron diferencias significativas ($p = 0,0011$; $CV = 14,09 \%$), donde los tratamientos bajo macrotúnel plástico, tanto para Marketmore ($21,7 \pm 0,88$ cm) como para Jaguar ($21,5 \pm 0,88$ cm), registraron las mayores medias, diferenciándose significativamente de los tratamientos con macrotúnel de sarán, en los cuales Marketmore alcanzó $17,9 \pm 0,88$ cm y Jaguar $17,5 \pm 0,88$ cm.

En la semana 2 las diferencias fueron altamente significativas ($p < 0,0001$; $CV = 15,27 \%$), destacándose el tratamiento T2 (macrotúnel plástico Jaguar) con la mayor altura promedio ($37,6 \pm 1,5$ cm), mientras que los tratamientos bajo sarán presentaron los valores más bajos.

En la semana 3 se mantuvo una diferencia significativa ($p = 0,009$; $CV = 31,87 \%$), donde el tratamiento T2 alcanzó $79,51 \pm 6,4$ cm, seguido de T1 con $69,1 \pm 6,4$ cm, evidenciándose un mayor crecimiento bajo cobertura plástica.

Finalmente, en la semana 4 se registraron diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$; $CV = 14,63 \%$), observándose que el tratamiento T1 (macrotúnel plástico Marketmore) presentó la mayor altura con $150 \pm 5,7$ cm, mientras que los tratamientos con macrotúnel de sarán registraron las menores alturas, confirmándose el efecto positivo del macrotúnel plástico sobre el crecimiento en altura del cultivo de pepino.

Tabla 9. *Altura promedio de plantas de pepino (Cucumis sativus L.) bajo diferentes sistemas de macrotúnel durante cuatro semanas de evaluación*

Tratamientos	Altura (cm)			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
T1 Macrotunel plástico (Marketmore)	$21,7 \pm 0,88$ a	$32,5 \pm 1,51$ ab	$69,1 \pm 6,4$ ab	$150,00 \pm 5,7$ a
T2 Macrotunel plástico (Jaguar)	$21,5 \pm 0,88$ a	$37,6 \pm 1,51$ a	$79,5 \pm 6,4$ a	$124,93 \pm 5,7$ b
T3 Macrotunel sarán (Marketmore)	$17,9 \pm 0,88$ b	$25,1 \pm 1,51$ b	$48,6 \pm 6,4$ b	$117,8 \pm 5,7$ b
T4 Macrotunel sarán (Jaguar)	$17,5 \pm 0,88$ b	$29,9 \pm 1,51$ b	$56,9 \pm 6,4$ ab	$104,87 \pm 5,7$ b
P-valor	0,0011	<0,0001	0,009	<0,0001
CV (%)	14,09	15,27	31,87	14,63

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

Marcano et al. (2018), reportaron alturas cercanas a 177,95 cm en la séptima semana de

evaluación, valores que resultaron superiores a los registrados en el presente estudio para el mismo período, diferencia atribuible a que su investigación se desarrolló bajo un sistema de siembra a cielo abierto, condición que favoreció una mayor elongación del tallo debido a la exposición directa a la radiación solar y a las características ambientales del sitio.

Este comportamiento resultó consistente con lo reportado por Reyes-Pérez et al. (2017), quienes, bajo condiciones de invernadero, registraron alturas superiores a 150 cm a los 60 días en plantas de pepino fertilizadas con humus de lombriz, atribuyendo este efecto al incremento en la disponibilidad de nutrientes y a la estimulación fisiológica del sistema radical, factores que favorecieron un crecimiento vegetativo sostenido similar al observado.

3.4.2 Diámetro del tallo (mm)

El análisis estadístico a la primera semana evidenció diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p = 0,0011$). El coeficiente de variación fue de 8,46 %, lo que indica una buena precisión experimental en esta etapa inicial. El tratamiento que presentó el mayor diámetro del tallo fue T1 (Macrotúnel plástico con Marketmore), con $4,67 \pm 0,11$ mm, mientras que el menor valor correspondió a T4 (Macrotúnel sarán con Jaguar), con $3,80 \pm 0,11$ mm, mostrando un menor crecimiento inicial del tallo bajo condiciones de sarán.

En la segunda semana se mantuvieron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,0001$). El coeficiente de variación fue de 9,67 %, reflejando una variabilidad moderada conforme avanzó el desarrollo vegetativo. El mayor diámetro del tallo se registró nuevamente en T1 (Macrotúnel plástico con Marketmore), con $5,15 \pm 0,07$ mm, mientras que el menor valor se observó en T4 (Macrotúnel sarán con Jaguar), con $4,74 \pm 0,07$ mm.

En la tercera semana, el análisis estadístico confirmó nuevamente diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p = 0,0001$). El coeficiente de variación fue de 4,42 %, indicando una elevada precisión experimental en esta etapa. El tratamiento con el mayor diámetro del tallo fue T1 (Macrotúnel plástico con Marketmore), con $6,11 \pm 0,17$ mm, mientras que el menor diámetro correspondió a T4 (Macrotúnel sarán con Jaguar), con $4,85 \pm 0,17$ mm.

Al finalizar la cuarta semana, persistieron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p = 0,0074$). El coeficiente de variación fue de 9,46 %, mostrando una variabilidad moderada en la etapa final del crecimiento. El mayor diámetro del tallo se mantuvo en T1 (Macrotúnel plástico con Marketmore), con $7,28 \pm 0,20$ mm, mientras que el menor valor

se observó en T3 (Macrotúnel sarán con Marketmore), con $6,29 \pm 0,20$ mm.

Tabla 10. *Diámetro del tallo (mm) de plantas de pepino bajo diferentes tratamientos de macrotúnel durante cuatro semanas de evaluación*

Tratamientos	Diámetro del tallo (mm)			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
T1 Macrotúnel plástico (Marketmore)	$4,67 \pm 0,11$ a	$5,15 \pm 0,07$ a	$6,11 \pm 0,17$ a	$7,28 \pm 0,2$ a
T2 Macrotúnel plástico (Jaguar)	$4,16 \pm 0,11$ b	$4,94 \pm 0,07$ ab	$5,58 \pm 0,17$ a	$6,76 \pm 0,2$ ab
T3 Macrotúnel sarán (Marketmore)	$4,19 \pm 0,11$ b	$5,04 \pm 0,07$ a	$5,65 \pm 0,17$ a	$6,29 \pm 0,2$ b
T4 Macrotúnel sarán (Jaguar)	$3,80 \pm 0,11$ b	$4,74 \pm 0,07$ b	$4,85 \pm 0,17$ b	$6,47 \pm 0,2$ b
P-valor	0,0011	<0,0001	0,0001	0,0074
CV (%)	8,46	9,67	4,42	9,46

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

Este patrón observado es consistente con lo documentado en estudios previos. Por ejemplo, Sánchez-Del Castillo et al. (2006), en su evaluación del pepino tipo europeo (variedad Kalunga), registraron diámetros de tallo que oscilaron entre 6,8 y 9,5 mm a los 47 días después de la siembra, variando principalmente según la edad de trasplante.

Nikolaou et al. (2019), quienes reportaron que el uso de cubiertas plásticas en macrotúneles favorece un microclima con mayor temperatura y radiación fotosintéticamente activa, lo que estimula el crecimiento vegetativo temprano y el engrosamiento del tallo en cucurbitáceas.

López-Marín et al. (2012), quienes encontraron que las mallas de sombreo (sarán) reducen la temperatura y la luz incidente, lo que puede ralentizar inicialmente el desarrollo del tallo en comparación con cubiertas plásticas transparentes. Sin embargo, hacia la semana 4, las diferencias entre cubiertas se redujeron, sugiriendo una posible adaptación o compensación del crecimiento.

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

Resultados para el Peso Promedio del Fruto (g)

El análisis estadístico mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos para el peso promedio del fruto ($p < 0,0001$). El coeficiente de variación fue del 31,3%, indicando una alta variabilidad en este parámetro entre las unidades experimentales. Los tratamientos bajo macrotúnel plástico, T1 (Marketmore) con $447,7 \pm 33,32$ g y T2 (Jaguar) con $429,1 \pm 33,32$ g, presentaron los valores más altos, aunque estadísticamente no difirieron entre

sí (grupo 'a'). Los tratamientos bajo sarán, T3 (Marketmore) con $332,65 \pm 33,32$ g y T4 (Jaguar) con $397,2 \pm 33,32$ g, mostraron los pesos más bajos, formando también un grupo estadístico homogéneo ('a'). Esto sugiere que el tipo de cubierta (plástico vs. sarán) tuvo un efecto marcado en la acumulación de peso del fruto.

Reyes-Pérez et al. (2017), documentaron una amplia variabilidad en el peso de fruto de pepino (desde 280 g hasta más de 500 g) entre diferentes híbridos cultivados bajo invernadero con malla anti-insectos, destacando que características como la capacidad de carga de frutos y la eficiencia en el uso del agua bajo estrés lumínico son determinantes y específicas de cada cultivar.

Resultados para la Longitud del Fruto (cm)

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la longitud del fruto ($p = 0,0366$). El coeficiente de variación fue del 17,84%, reflejando una variabilidad moderada. Los frutos de mayor longitud se obtuvieron en los tratamientos con cubierta plástica: T2 (Jaguar) con $28,5 \pm 1,31$ cm y T1 (Marketmore) con $25,00 \pm 1,31$ cm, perteneciendo ambos al grupo significativo más alto ('a'). Por el contrario, los tratamientos bajo sarán produjeron frutos significativamente más cortos: T3 (Marketmore) con $2,16 \pm 1,31$ cm y T4 (Jaguar) con $21,27 \pm 1,31$ cm, agrupados en un conjunto estadístico inferior ('b').

Ilić et al. (2017), quienes evaluaron pepino en invernadero con diferentes niveles de sombreado. Reportaron que una reducción del 30% en la radiación incidente mediante mallas disminuyó significativamente la longitud del fruto (de 27 cm a 22 cm en promedio), debido a una menor tasa de elongación celular en los frutos en desarrollo, asociada a una reducción en la disponibilidad de fotoasimilados.

La mayor longitud alcanzada por el cultivar Jaguar bajo plástico (T2, 28,5 cm) en comparación con Marketmore en la misma condición (T1, 25,0 cm) sugiere una ventaja genética para este carácter. En un estudio con varios genotipos de pepino para fresco, Kumar et al. (2013), identificaron líneas que, bajo óptimas condiciones de luz y temperatura en invernadero, superaron consistentemente los 28 cm de longitud, mientras que otros se mantuvieron alrededor de 24-25 cm, demostrando que este rasgo es altamente heredable y sensible a la interacción genotipo-ambiente.

Resultados para el diámetro del fruto (cm)

El análisis reveló la existencia de diferencias altamente significativas entre tratamientos para el diámetro del fruto ($p < 0,0001$). El coeficiente de variación fue del 12,09%, denotando una precisión experimental aceptable. Los frutos de mayor diámetro se observaron en los tratamientos T1 y T2 (ambos con macrotúnel plástico), con un valor idéntico de $56,92 \pm 2,08$ cm, formando el grupo estadístico superior ('a'). Los tratamientos T3 y T4 (bajo macrotúnel sarán) presentaron diámetros significativamente menores, de $49,95 \pm 2,08$ cm y $52,67 \pm 2,08$ cm respectivamente, y se agruparon en un conjunto intermedio ('ab') que no difirió estadísticamente del grupo 'a' en el caso de T4.

Los resultados obtenidos para la longitud del fruto (entre 21,27 y 28,5 cm) se sitúan dentro del rango reportado para pepino bajo condiciones de cultivo protegido, aunque en el extremo superior del mismo. Por un lado, fueron consistentes con la tendencia de estabilidad morfológica descrita por López-Elías et al. (2011), quienes observaron que, en ambientes protegidos, la longitud del fruto de pepino presenta poca variación entre tratamientos cuando los factores climáticos están controlados, lo que explicaría la agrupación estadística observada entre tratamientos con la misma cubierta.

Sin embargo, los valores registrados resultaron ligeramente inferiores a los máximos reportados en estudios recientes bajo condiciones óptimas. Por ejemplo, Acosta (2023), documentó longitudes de hasta 27.80 cm en el tratamiento de mejor desempeño productivo, lo que sugiere que, a pesar de los buenos resultados obtenidos (especialmente en T2 con 28.5 cm), podría existir un margen para mejorar el manejo del microclima o la nutrición para alcanzar el potencial máximo del cultivo.

Tabla 11. *Parámetros de calidad del fruto (peso, longitud y diámetro) en pepino cultivado bajo diferentes tratamientos de macrotúnel*

Tratamientos	Peso promedio de fruto (g)	Longitud (cm)	Diámetro del fruto (mm)
T1 Macrotunel plástico (Marketmore)	$447,7 \pm 33,32$ a	$25,00 \pm 1,31$ a	$56,92 \pm 2,08$ a
T2 Macrotunel plástico (Jaguar)	$429,1 \pm 33,32$ a	$28,50 \pm 1,31$ a	$56,92 \pm 2,08$ a
T3 Macrotunel sarán (Marketmore)	$332,65 \pm 33,32$ a	$23,16 \pm 1,31$ b	$49,95 \pm 2,08$ ab
T4 Macrotunel sarán (Jaguar)	$397,2 \pm 33,32$ a	$21,27 \pm 1,31$ b	$52,67 \pm 2,08$ ab
P valor	<0,0001	0,0366	<0,0001
CV (%)	31,3	17,84	12,09

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

3.4.4 Resultados de la prueba t de Student para temperatura del aire

La comparación de la temperatura media del aire entre el macrotúnel con cubierta plástica y el macrotúnel con malla sarán se realizó mediante una prueba t de Student para muestras independientes, considerando 24 observaciones por grupo. La temperatura promedio registrada en el macrotúnel con plástico fue de 30,52 °C, mientras que en el macrotúnel con sarán alcanzó 30,93 °C, con una diferencia media de -0,41 °C a favor del sistema con sarán.

El intervalo de confianza al 95 % para la diferencia de medias osciló entre -2,44 y 1,62 °C, incluyendo el valor cero. Previamente, la prueba de homogeneidad de varianzas indicó una ligera heterogeneidad ($p = 0,049$); no obstante, el análisis t mostró que no existieron diferencias estadísticas significativas entre ambos sistemas de cobertura ($t = -0,41$; $gl = 41$; $p = 0,6837$).

Estos resultados indican que, bajo las condiciones evaluadas, el tipo de cobertura (plástico vs. malla sarán) no generó variaciones significativas en la temperatura media del macrotúnel, evidenciando un comportamiento térmico comparable entre ambos sistemas durante el período de evaluación.

Tabla 12. Comparación de la temperatura media (°C) del aire entre macrotúnel con cubierta plástica y macrotúnel con malla sarán mediante la prueba t de Student

	Grupo 1	Grupo 2
	Temp. sarán (°C)	Temp. plástico (°C)
n	24	24
Media	30,52	30,93
Media (1)-Media (2)	-0,41	
LI (95)	-2,44	
LS (95)	1,62	
pHomVar	0,049	
T	-0,41	
gl	41	
p-valor	0,6837	

A partir de las medidas descriptivas obtenidas para la temperatura del aire bajo los dos sistemas de cobertura evaluados, se observó un comportamiento térmico similar entre ambos ambientes. En el macrotúnel con malla sarán, la temperatura media fue de 30,52 °C, con una desviación estándar de 2,70 °C y un error estándar de 0,55 °C, registrándose valores mínimos

de 25 °C y máximos de 37,1 °C; la mediana se ubicó en 30,05 °C, lo que indicó una distribución relativamente simétrica de los datos.

Por su parte, el macrotúnel con cubierta plástica presentó una temperatura media ligeramente superior (30,93 °C), acompañada de una mayor variabilidad térmica, reflejada en una desviación estándar de 4,12 °C y un error estándar de 0,84 °C. Los valores extremos oscilaron entre 23 °C y 40,3 °C, mientras que la mediana también fue de 30,05 °C, evidenciando que ambos sistemas compartieron un valor central similar.

En conjunto, estos resultados indicaron que, aunque las temperaturas promedio fueron cercanas entre sistemas, el macrotúnel con plástico tendió a generar mayor amplitud térmica, mientras que la malla sarán favoreció un ambiente más estable, aspecto relevante para la regulación microclimática del cultivo de pepino.

Tabla 13. *Medidas descriptivas de la temperatura del aire (°C) bajo macrotúnel con cubierta plástica y macrotúnel con malla sarán*

Variable	n	Media	D.E.	E.E.	Mín	Máx	Mediana
Temp. sarán (°C)	24	30,52	2,70	0,55	25,00	37,10	30,05
Temp. sarán (°C)	24	30,93	4,12	0,84	23,00	40,30	30,05

3.4.5 Resultados de la humedad relativa del aire

El análisis de la humedad relativa del aire bajo los dos sistemas de cobertura no evidenció diferencias estadísticas significativas entre el macrotúnel con cubierta plástica y el macrotúnel con malla sarán. La humedad relativa media fue de 71,71 % en el macrotúnel con plástico y de 74,83 % en el macrotúnel con sarán, con una diferencia de medias de -3,12 %. El intervalo de confianza al 95 % (-9,41 a 3,17) incluyó el valor cero, confirmando la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos.

La prueba *t* de Student indicó un valor de $t = -1,0$, con 46 grados de libertad y un *p*-valor = 0,3233, lo que sugiere que el tipo de cobertura no influyó de manera significativa sobre la humedad relativa del ambiente durante el periodo evaluado.

Tabla 14. Comparación de la humedad relativa del aire (%) entre macrotúnel con cubierta plástica y macrotúnel con malla sarán mediante la prueba t de Student

	Grupo 1	Grupo 2
	HR plástico (%)	HR sarán (%)
n	24	24
Media	71,71	74,83
Media (1)- Media (2)	-3,12	
LI (95)	-9,41	
LS (95)	3,17	
pHomVar	0,536	
T	-1	
gl	46	
p-valor	0,3233	

Desde el punto de vista descriptivo, el macrotúnel con sarán presentó una mayor variabilidad en la humedad relativa (D.E. = 11,51 %) en comparación con el macrotúnel con plástico (D.E. = 10,10 %). Asimismo, los valores máximos alcanzaron 100 % bajo sarán y 91,3 % bajo plástico, mientras que las medianas fueron similares (72 % y 70,2 %, respectivamente), indicando condiciones ambientales relativamente estables en ambos sistemas.

Tabla 15. Medidas descriptivas de la humedad relativa del aire (%)

Variable	n	Media (%)	D.E.	E.E.	Mín (%)	Máx (%)	Mediana (%)
HR plástico (%)	24	71,71	10,10	2,06	51,60	91,30	70,20
HR sarán (%)	24	74,83	11,51	2,35	53,60	100	72,00

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

Se concluyó que el macrotúnel con cubierta plástica favoreció de manera consistente el crecimiento vegetativo y productivo del cultivo de pepino, reflejado en mayores valores de altura de planta, diámetro del tallo y peso promedio del fruto, en comparación con el macrotúnel con malla sarán. El macrotúnel con cubierta plástica modificó de manera más marcada las condiciones microclimáticas respecto al macrotúnel con malla sarán en el trópico húmedo manabita, al registrar temperaturas ligeramente superiores y una mayor estabilidad térmica, mientras que el macrotúnel con sarán presentó mayor ventilación natural y valores de humedad relativa más elevados, favoreciendo un ambiente menos restrictivo al intercambio gaseoso. La humedad relativa promedio fue mayor en el macrotúnel con sarán en comparación con el macrotúnel plástico, lo que evidenció que la malla permitió una mayor interacción con el ambiente externo, mientras que la cubierta plástica generó un microclima más cerrado, con menor variabilidad diaria de temperatura y humedad.

Durante el período de evaluación no se evidenció la presencia de plagas ni enfermedades de importancia económica en el cultivo de pepino establecido bajo macrotúnel con cubierta plástica ni bajo macrotúnel con malla sarán.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda priorizar el uso del macrotúnel con cubierta plástica para la producción de pepino, debido a que favoreció un mayor crecimiento vegetativo y mejores características productivas del cultivo.
- En condiciones de trópico húmedo, se sugiere ajustar la ventilación del macrotúnel plástico para evitar excesos térmicos, aprovechando su capacidad de generar un microclima más estable.
- El macrotúnel con malla sarán puede considerarse como alternativa cuando se requiera mayor ventilación y control de la humedad relativa, especialmente en períodos de alta precipitación.
- Mantener el monitoreo microclimático continuo (temperatura y humedad relativa) para optimizar el manejo del cultivo y prevenir condiciones de estrés fisiológico.
- Dado que no se evidenció presencia de plagas, se recomienda continuar con prácticas preventivas bajo cobertura, priorizando el uso de barreras físicas y manejo integrado sin dependencia de agroquímicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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-García, J., Murillo-Cuevas, F. D., Fernández-Viveros, J. A., Villegas-Narváez, J., & Cabrera-Mireles, H. (2024). Nodess macrotúneles: Producción sustentable de alimentos para mujeres y familias rurales. *RINDERESU*, 8(1-2), 50-57.
- Alejo-Santiago, G., Becerra-Venegas, S. G., Bugarín-Montoya, R., Aburto-González, C. A., Quiñones-Aguilar, E. E., Rincón-Enríquez, G., & Juárez-Rosete, C. R. (2021). Requerimiento nutrimental y nutrición potásica en pepino Persa con poda a un solo tallo. *Terra Latinoamericana*, 39.
- 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>
- Arias, F. (2012). El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica (6ta ed.). Fidia G.
- Aviles, J. (2022). Análisis económico de diferentes tipos de fertilización en la producción de cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) en el cantón milagro trabajo experimenta [Tesis de Grado, Universidad Agraria Del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/AVILES%20CELLERI%20JORDY%20JESUS.pdf>
- Ayala-Tafoya, F., López-Orona, C. A., Yáñez-Juárez, M. G., Díaz-Valdez, T., Velázquez-Alcaraz, T. de J., Parra Delgado, J. M., Ayala-Tafoya, F., López-Orona, C. A., Yáñez-Juárez, M. G., Díaz-Valdez, T., Velázquez-Alcaraz, T. de J., & Parra Delgado, J. M. (2019). Densidad de plantas y poda de tallos en la producción de pepino en invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(1), 79-90. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1211>
- Barraza, F. V. (2017). Absorción de N, P, K, Ca y Mg en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema hidropónico. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 343-350.
- Barraza-Álvarez, F. V. (2015). Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados en

- diferentes concentraciones nutrimentales. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 60. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3746>
- 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.
- Cartes-Rodríguez, E., Acevedo Tapia, M., González Ortega, M., Álvarez, C., García Rivas, E., & Mena Marín, P. P. (2019). *Manual de manejo de riego y fertilización en viveros de plantas a raíz cubierta*. INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/29152>
- Čepulienė, R., Butkevičienė, L. M., Skinulienė, L., & Steponavičienė, V. (2022). Response of cucumbers (*Cucumis sativus* L.) to waste wood fiber substrates and additional nitrogen fertilization. *Plants*, 11(24), 3464.
- 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.
- Cifuentes, R., Porres, V., & de León, E. (2014). Evaluación de tres tipos de cubierta para macrotúneles sobre el microclima y la productividad de chile pimiento (*Capsicum annuum*) en Escuintla y Sololá.
- Díaz Ayala, K. N. (2017). “Producción de pepino (*Cucumis sativus*.) con dos sistemas de tutorado”.
- Elizabeth Castillo, E. M. (2015). Costo de producción del Pepino (*Cucumis sativus* L.), bajo condiciones protegidas en marco tunel en la Universidad Nacional Agraria, Enero-Abril 2014 [Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/3121/>
- Erreyes-Jara, J. B., Montoya-Alejandro, J., & Luna-Romero, Á. E. (2023). Rendimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de mulch plástico, Ecuador. *Agroecosistemas*, 11(1), 44-51.
- Espinoza-Ronquillo, S. I. (2022). Seguimiento y observación del crecimiento agronómico en el cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.) en el Ecuador [Tesis de Grado, BABAHOYO: UTB, 2022]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13367>
- Gonzalez Estrada, C. J. (2021). Manejo agronomico en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) en la finca Pandora—Municipio de Tipitapa—Managua, Nicaragua [Engineer, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/4349/>
- 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=EgoyMDI1MDUyNi4wIKXMDS
oASAFQAw%3D%3D

- Henríquez-Díaz, F. M., Salgado-Valle, Y., Ramírez-Arrebato, M. A., Reyes-Pérez, J. J., Rodríguez-Pedroso, A. T., Ruiz-Sánchez, M., & Hernández-Montiel, L. G. (2020a). Efecto de Quitomax en el control del mildiú veloso en pepino (*Cucumis sativus* L.). *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 7(2).
- Henríquez-Díaz, F. M., Salgado-Valle, Y., Ramírez-Arrebato, M. A., Reyes-Pérez, J. J., Rodríguez-Pedroso, A. T., Ruiz-Sánchez, M., & Hernández-Montiel, L. G. (2020b). Efecto de Quitomax en el control del mildiú veloso en pepino (*Cucumis sativus* L.). *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 7(2).
- Hidalgo, I. V. (2005). Tipos de estudio y métodos de investigación. Recuperado el Noviembre de, 20(1).
- Hurtado-Santana, G. V. (2023). Propagación de Tabebuia rosea (Bertol.) Bertero ex A.DC. (Guayacán rosado) a nivel de vivero empleando abono orgánico. Quevedo [Tesis de Grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/8119>
- Ilić, Z. S., Milenković, L., Šunić, L., Barać, S., Mastilović, J., Kevrešan, Ž., & Fallik, E. (2017). Effect of shading by coloured nets on yield and fruit quality of sweet pepper. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(1).
- INAMHI. (2022, abril 16). Anuario meteorológico. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf.
- InfoAgro. (2022). El cultivo del pepino (Parte I). https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_pepino_parte_i_.asp
- Juárez-López, P., Pérez-Cabrera, C. A., Anzaldo-Hernández, J., Alia-Tejaca, I., Salcedo-Pérez, E., & López-Martínez, V. (2025). Biocarbón de ápices de caña de azúcar en el crecimiento inicial de pepino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16(4), e3727-e3727.
- Kaur, M., & Sharma, P. (2022). Recent advances in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 97(1), 3-23.
- Kumar, S., Kumar, D., Kumar, R., Thakur, K., & Dogra, B. S. (2013). Estimation of genetic variability and divergence for fruit yield and quality traits in cucumber (*Cucumis sativus* L.) in North-Western Himalayas. *Universal Journal of Plant Science*, 1(2), 27-36.

- 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-Marín, J., Gálvez, A., González, A., Egea-Gilabert, C., & Fernández, J. A. (2012). Effect of shade on yield, quality and photosynthesis-related parameters of sweet pepper plants. 545-552.
- Marcano, C., Acevedo, I., Contreras, J., Jiménez, O., Escalona, A., & Pérez, P. (2018). Crecimiento y desarrollo del cultivo pepino (*Cucumis sativus* L.) en la zona hortícola de Humocaro bajo, estado Lara, Venezuela. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(8), 1629-1636. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i8.1327>
- Mendoza, J. (2017). Crecimiento, producción y absorción nutricional del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) con dos soluciones nutritivas en ambiente protegido. *Revista Digital de Ciencias Agrarias*, 67-81.
- Meneses-Fernández, C., & Quesada-Roldán, G. (2018). Crecimiento y rendimiento del pepino holandés en ambiente protegido y con sustratos orgánicos alternativos. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 235-250.
- Nikolaou, G., Neocleous, D., Katsoulas, N., & Kittas, C. (2019). Effects of cooling systems on greenhouse microclimate and cucumber growth under Mediterranean climatic conditions. *Agronomy*, 9(6), 300.
- Reyes-Pérez, J. J., Murillo, R. A. L., Bermeo, M. del R. R., Rosado, Á. J. Y., Pacheco, F. A., Cunuhay, K. A. E., Bustamante, R. J. L., Morán, V. F. V., Burgos, D. Z., Bravo, D. A. C., & Rodríguez, J. A. T. (2017). USO DEL HUMUS DE LOMBRIZ Y JACINTO DE AGUA SOBRE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL PEPINO (*Cucumis sativus*, L). *Biotecnia*, 19(2), 30-35. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v19i2.382>
- Sánchez Del Castillo, F., González-Molina, L., Moreno-Pérez, E. del C., Pineda-Pineda, J., & Reyes-González, C. E. (2014). Dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Revista fitotecnia mexicana*, 37(3), 261-269.
- 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
- Sánchez-González, L. A. (2022). Evaluación de la germinación y crecimiento inicial de plántulas de *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex. Lam.) Urb. (Balsa) a nivel de vivero

empleando diferentes tipos de sustratos [Tesis de Grado, Universidad Técnica Estatal De Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6626>

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>

ANEXOS

Anexo 1. Preparación del terreno y trasplante dentro de los macrotúneles



Anexo 2. Estructura del macrotúnel de plástico



Anexo 3. Estructura de macrotunel de sarán



Anexo 4. Medición del desarrollo de las plantas



Anexo 5. Riego manual de las plantas



Anexo 6. Medición de temperatura y humedad relativa



Anexo 7. Visita control de la tutora Ing. Myriam



Anexo 8. Desoje de las plantas



Anexo 9. Poda de brotes secundarios



Anexo 10. Poda del ápice de la planta



Anexo 11. Cosecha de frutos





PROYECTO DE INVESTIGACION ALEJANDRA VERA ZAMBRANO

9%
Textos
sospechosos

7% Similitudes (ignorado)
0% similitudes entre
comillas
0% entre las fuentes
mencionadas
9% Idiomas no reconocidos
10% Textos potencialmente
generados por la IA
(ignorado)

Nombre del documento: PROYECTO DE INVESTIGACION ALEJANDRA
VERA ZAMBRANO.docx
ID del documento: 5c586bb6b715cab3d0c99c4f393768805146f0e9
Tamaño del documento original: 4,94 MB

Depositante: Myriam Zambrano Mendoza
Fecha de depósito: 20/1/2026
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 20/1/2026

Número de palabras: 11.772
Número de caracteres: 79.170

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	07012026 Cultivo de hortalizas en condiciones de macrotunel de pl... #f0b92c Viene de de mi biblioteca 28 fuentes similares	8%		Palabras idénticas: 8% (931 palabras)
2	Tesis completa CORREGIDA.docx Tesis completa CORREGIDA #a98224 Viene de de mi biblioteca 29 fuentes similares	8%		Palabras idénticas: 8% (886 palabras)
3	repositorio.uleam.edu.ec https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/7218/1/ULEAM-AGRO-0365.pdf 26 fuentes similares	5%		Palabras idénticas: 5% (531 palabras)
4	Comportamiento agronómico del cultivo de pepino (Cucumis sativus)... #50e517 Viene de de mi grupo 23 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (296 palabras)
5	Maited_C_R_PEPINO_TESISs empl-.docx Maited_C_R_PEPINO_TESISs c... #1e54d9 Viene de de mi biblioteca 4 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (179 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.una.edu.ni Costo de producción del Pepino (Cucumis Sativus L.), ba... https://repositorio.una.edu.ni/3121/1/ine20e43.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (38 palabras)
2	www.scielo.org.mx Yield of chile de agua under different macro-tunnel covers http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&id=S0187-7380202100030033&lng=...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (35 palabras)
3	www.redalyc.org Efecto de Quitomax en el control del mildiú vellosa en pepino... https://www.redalyc.org/journal/3586/358664458018/358664458018.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
4	revistas.uptc.edu.co Evaluación de rendimiento y calidad de seis genotipos de ... https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/download/5069/pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
5	Documento de otro usuario #738785 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

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

- <http://repositorio.uct.edu.ec/handle/27000/10100>
- <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.02.08>
- <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1211>
- <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3746>
- <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/29152>

