



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 de plántulas de hortalizas en condiciones de macrotunel con
sistema de riego por goteo”**

AUTORA: Dayana María Álava Mitte

TUTORA: Ing. Myriam Elizabeth Zambrano Mendoza, Mg.

El Carmen, diciembre del 2025

	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 II de 62

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 '**DAYANA MARIA ALAVA MITTE**', CI. 1719172502 legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, periodo académico 2025 (2), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **“Crecimiento de plántulas de hortalizas en condiciones de macrotunel con sistema de riego por goteo**

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

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Dayana Maria Alava Mitte**, con cédula de ciudadanía 1719172502, estudiante de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Extensión El Carmen, de la Carrera Ingeniería Agropecuaria, declaro que las opiniones, criterios y resultados encontrados en las aplicaciones de los diferentes instrumentos de investigación que están resumidos en las recomendaciones con el tema **“Crecimiento de plántulas de hortalizas en condiciones de macrotunel con sistema de riego por goteo”**, son información exclusiva de su autora, apoyados por el criterio de profesionales de diferentes indoles, presentados en la bibliografía que fundamenta este trabajo; al mismo tiempo declaro que el patrimonio intelectual del trabajo investigativo pertenece a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Extensión El Carmen.

Atentamente,



Dayana Maria Alava Mitte,

El Carmen, 28 de enero de 2026

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

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TÍTULO:

**"Crecimiento de plántulas de hortalizas en condiciones de macrotunel con
sistema de riego por goteo"**

AUTORA: Dayana Maria Alava Mitte

TUTOR: Ing. Myriam Elizabeth Zambrano Mendoza, Mg.

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

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

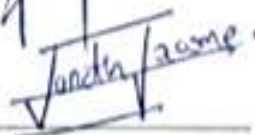
Mg. De la Cruz Chicaiza Marco Vinicio,



Mg. Vivas Cedeño Jorge Sifrido,



Dra. Janeth Rocío Jacome Gómez, PhD



DEDICATORIA

*“Quien lleva amor en la raíz de su propósito jamás se pierde, porque incluso en el silencio
florece”-Constantino*

A mis padres, Diomedes Álava Loor y Mercy Mitte Molina, pilares inquebrantables en mi vida. Gracias por el esfuerzo silencioso, por los valores sembrados y por cada gesto de amor que ha sido faro en los momentos de oscuridad. Sin su ejemplo, su fe en mí y su constante compañía, este camino no habría sido posible. Les debo todo lo que soy y todo lo que aspiro a ser.

A mi hija, Raffaella, mi razón más pura y luminosa para avanzar. Su existencia transforma cada desafío en motivo, cada logro en legado. Es para ella que trazo este camino con fuerza, dignidad y esperanza, con el anhelo de dejarle un ejemplo digno del amor infinito que me inspira.

Dayana Maria Alava Mitte

AGRADECIMIENTO

“Que quienes se engañan gocen de la paz, que cada cual conserve lo que su alma quiere tener,
que nadie atormente a nadie” -*Constantino*

A Dios, por ser la fuente suprema de sabiduría, por infundirme fortaleza en los momentos de incertidumbre y por acompañarme silenciosamente en cada paso dado a lo largo de esta formación. A Él le debo la claridad para avanzar y la gracia para persistir.

A mis padres, Diomedes Álava Llor y Mercy Mitte Molina, por enseñarme que el esfuerzo, la disciplina y la honestidad son los cimientos del verdadero éxito. Su amor, sacrificio y entrega han sido el faro que orienta mis pasos y el sostén que nunca ha faltado.

A mis hermanos, por ser mi apoyo constante, mis cómplices en los desafíos y mis compañeros en los triunfos. Su aliento y compañía fortalecieron mi espíritu en todo momento.

A mi amada hija, Raffaella, por ser la luz que da sentido a cada esfuerzo, el motor que me inspira a no rendirme y la razón más hermosa para seguir creciendo. Todo lo alcanzado tiene en ella su mayor recompensa.

A todos quienes formaron parte de este proceso, mi más sincera gratitud.

Dayana Maria Alava Mitte

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	¡Error! Marcador no definido.
TRIBUNAL DE TITULACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE ANEXO	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT	XV
INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVOS.....	4
CAPITULO I	1
METODOLOGÍA	1
1.1 Localización de la unidad experimental.....	1
1.2 Caracterización meteorológica de la zona.....	1
1.3 Métodos.....	2
1.3.1 Método empírico	2
1.3.2 Método experimental.....	2
1.3.3 Método bibliográfico.....	2
1.3.4 Método observacional	2
1.4 Fuentes de recopilación de la información.....	3
1.4.1 Fuentes primarias	3
1.4.2 Fuentes secundarias.....	3
1.5 Diseño de la Investigación	3

1.5.1	Materiales	3
1.5.2	Descripción de los tratamientos	4
1.6	Instrumentos de investigación	4
1.6.1	Procedimiento experimental.....	4
1.6.2	Medición de variables	5
1.6.3	Variables de interés	5
1.7	Análisis estadístico.....	6
1.8	Recursos humanos y materiales	6
1.8.1	Recursos humanos.....	6
1.8.2	Material vegetal.....	6
1.8.3	Componentes de los sustratos	6
1.8.4	Sistema de riego	7
1.8.5	Herramientas y equipos complementarios	7
CAPÍTULO II		1
MARCO TEÓRICO.....		1
2.1	Enfoque productivo del cultivo bajo macrotúnel: una práctica de agricultura integrada	1
2.2	Agricultura protegida y su evolución tecnológica.....	2
2.2.1	¿Qué es un macrotúnel?	3
2.2.2	Beneficios agronómicos del uso de macrotúneles.....	3
2.2.3	Principales limitaciones.....	3
2.2.4	Importancia de la temperatura en los macrotúneles	4
2.2.5	Control de la humedad relativa en macrotúneles	4
2.2.6	Importancia de la radiación y la temperatura en los macrotúneles	6
2.2.7	Selección de plástico para cubiertas de invernadero	7
2.2.8	Acciones para mejorar o aumentar la luz en un macrotúnel	7
2.3	Morfología del <i>Cucumis sativus</i>	7

2.3.1	Raíces	7
2.3.2	Tallo	8
2.3.3	Hojas.....	8
2.3.4	Zarcillo	9
2.3.5	Flores	9
2.3.6	Frutos.....	10
2.3.7	Semilla.....	10
2.4	ANTECEDENTES.....	10
INVESTIGACIONES EXPERIMENTALES AFINES AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....		10
CAPITULO III		13
DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....		13
3.1	Descripción del sistema.....	13
3.2	Diseño y selección de tecnologías a implementar.....	14
3.2.1	Sistema de riego por goteo	16
3.3	Plan de implementación	18
3.4	Resultados y discusión	19
3.4.1	Porcentaje de germinación (%)	19
3.4.2	Damping-off (%) – Número de plantas afectadas	19
3.4.3	Altura de la planta (cm).....	20
3.4.4	Diámetro del tallo (mm).....	22
3.4.5	Hojas verdaderas	23
3.4.6	Número de raíces.....	23
CAPÍTULO IV.....		25
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		25
4.1	Conclusiones	25
4.2	Recomendaciones.....	25

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	XXXV
ANEXOS.....	XXXV

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características meteorológicas de la localidad.....	1
Tabla 2. Tratamiento de estudio	4
Tabla 3. Diferencias entre los tres sistemas agrícolas	2
Tabla 4. Requerimiento de temperatura de diferentes verduras en macrotúneles	4
Tabla 5. Propiedades Ópticas recomendadas para plásticos de cubierta en invernaderos	7
Tabla 6. Desglose de gastos de implementación del macrotúnel	13
Tabla 7. Materiales e insumos utilizados para la construcción del macrotúnel y establecimiento del vivero.....	15
Tabla 8. Porcentaje de germinación de plántulas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) variedades Marketmore y Jaguar bajo macrotúnel con malla sarán.....	19
Tabla 9. Incidencia de Damping-off (%) en plántulas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) variedades Marketmore y Jaguar bajo Macrotúnel con malla sarán	19
Tabla 10. Altura promedio de plántulas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) variedades Marketmore y Jaguar bajo macrotúnel con malla sarán a los 7 días después de la siembra.....	20
Tabla 11. Prueba <i>t</i> de Student para la altura de plántulas (cm) a los 14 días después de la siembra	21
Tabla 12. Prueba <i>t</i> de Student para la altura de plántulas (cm) a los 21 días después de la siembra	21
Tabla 13. Diámetro promedio del tallo (mm) de plántulas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) variedades Marketmore y Jaguar bajo macrotúnel con malla sarán a los 7, 14 y 21 días después de la siembra	22
Tabla 14. Número promedio de hojas verdaderas en plántulas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) variedades Marketmore y Jaguar bajo macrotúnel con malla sarán a los 14 y 21 días después de la siembra	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio	1
Figura 2. Equipos para la medición de temperatura y humedad relativa en macrotúneles	5
Figura 3. Presentación del efecto invernadero en estructuras protegidas	6
Figura 4. <i>Sistema radicular del pepino</i>	8
Figura 5. <i>Tallo anguloso, herbáceo y rastrero</i>	8
Figura 6. Forma de la hoja del pepino (<i>Cucumis sativus</i>) simples y alargadas	9
Figura 7. Forma de la flor del pepino (<i>Cucumis sativus</i>) femenina (a) y masculina (b).....	10
Figura 8. Instalación de la malla sarán en la estructura del macrotúnel para el establecimiento de plántulas de pepino	15
Figura 9. Distribución de tratamientos y repeticiones de plántulas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) variedades Marketmore y Jaguar bajo macrotúnel con malla sarán.....	16
Figura 9. Plántulas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) bajo macrotúnel de malla sarán con sistema de riego por goteo.....	16
Figura 10. Croquis técnico del sistema de riego por goteo implementado en el macrotúnel de malla sarán para plántulas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.)	17

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. Prueba t de Student para muestras independientes del número promedio de raíces en plántulas de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.) variedades Marketmore y Jaguar bajo macrotúnel con riego por goteo	XXXV
Anexo 2. <i>Preparación del sustrato con tierra de cacao, cal, cascarilla de arroz y biocompost</i>	XXXV
Anexo 3. <i>Siembra de semillas de pepino en bandejas germinadoras</i>	XXXV
Anexo 4. <i>Germinación de plántulas de pepino variedad Jaguar bajo macrotúnel con malla sarán.</i>	XXXVI
Anexo 5. <i>Desarrollo de plántulas de pepino variedad Marketmore a los 14 días de siembra</i>	XXXVI
Anexo 6. <i>Trasplante y evaluación de plántulas en fundas bajo macrotúnel de malla sarán</i>	XXXVII

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar el crecimiento de plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de macrotúnel con malla sarán y sistema de riego por goteo. Se compararon dos variedades, Marketmore (T1) y Jaguar (T2), cada una con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron altura de planta, diámetro del tallo y número de hojas verdaderas a los 7, 14 y 21 días después de la siembra. El análisis estadístico se realizó mediante la prueba t de Student para muestras independientes ($\alpha = 0,05$).

Los resultados evidenciaron que la variedad Marketmore presentó mayor crecimiento en las etapas iniciales, con valores superiores en altura y diámetro del tallo a los 7 y 14 días. A los 21 días después de la siembra, Marketmore alcanzó 11,38 cm de altura, 3,38 mm de diámetro de tallo y 3,07 hojas verdaderas, mientras que Jaguar registró 9,97 cm, 2,80 mm y 2,33 hojas, respectivamente. No obstante, las diferencias no fueron estadísticamente significativas al final del ensayo ($p > 0,05$). El ambiente protegido y el riego localizado favorecieron un desarrollo uniforme de las plántulas, al disminuir el estrés hídrico y térmico. Se concluye que el uso de macrotúnel con malla sarán y riego por goteo constituye una alternativa eficiente para la producción de plántulas de pepino bajo condiciones tropicales, garantizando crecimiento homogéneo y adecuado vigor vegetativo.

Palabras clave: *Cucumis sativus*, macrotúnel, riego por goteo, crecimiento, plántula.

ABSTRACT

The study aimed to evaluate the growth of cucumber seedlings (*Cucumis sativus* L.) under macrotunnel conditions with shade netting and drip irrigation system. Two varieties were compared, Marketmore (T1) and Jaguar (T2), each with four replications. The evaluated variables included plant height, stem diameter, and number of true leaves at 7, 14, and 21 days after sowing. The statistical analysis was performed using the independent samples Student's t-test ($\alpha = 0.05$). The results showed that the Marketmore variety exhibited greater growth during the initial stages, with higher values in plant height and stem diameter at 7 and 14 days. At 21 days after sowing, Marketmore reached 11.38 cm in height, 3.38 mm in stem diameter, and 3.07 true leaves, whereas Jaguar recorded 9.97 cm, 2.80 mm, and 2.33 leaves, respectively. However, no statistically significant differences were detected at the end of the evaluation period ($p > 0.05$). The protected environment and localized irrigation promoted uniform seedling development by reducing water and thermal stress. It is concluded that the use of a macrotunnel with shade netting and drip irrigation represents an efficient and replicable alternative for cucumber seedling production under tropical conditions, ensuring vigorous and homogeneous growth.

Keywords: *Cucumis sativus*, macrotunnel, drip irrigation, growth, seedling.

INTRODUCCIÓN

La agricultura actual ha dejado de depender exclusivamente del cultivo a campo abierto, dando paso a una amplia variedad de ambientes modificados que permiten una producción más controlada y eficiente (Juárez et al., 2011). Entre estos ambientes destacan los invernaderos, tanto con o sin control climático, así como los sistemas de cultivo sobre sustratos inertes, hidropónicos o en suelo, los cuales representan ecosistemas artificiales diseñados para intensificar la producción agrícola (García et al., 2024).

En este contexto, los cultivos hortícolas han evidenciado una tendencia creciente hacia la producción anticipada o fuera de estación, bajo condiciones distintas a las tradicionales (Pratt et al., 2019). Esta transformación ha impulsado el desarrollo de nuevas técnicas y estructuras destinadas a proteger los cultivos y mejorar la calidad del producto final (Adame et al., 2021; Lynch, 2006). Así surge la agricultura protegida, una modalidad de producción que integra invernaderos, túneles altos y bajos, y mallas sombra, promovida principalmente por la disponibilidad y evolución de materiales plásticos agrícolas (Nahed-Toral et al., 2001; Vargas-Canales et al., 2015).

El crecimiento demográfico y la creciente demanda alimentaria ejercen presión sobre los sistemas agrícolas, generando impactos significativos sobre los recursos naturales y los ecosistemas (Padilla-Bernal et al., 2012). A nivel global, millones de personas enfrentan problemas de malnutrición, mientras que los modelos productivos convencionales contribuyen a la degradación ambiental (Saltos, 2009).

En este sentido, El Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenibles (IISD, 2017) establece que uno de los principales desafíos de los países consiste en garantizar el acceso a los alimentos sin comprometer la sostenibilidad ecológica, consolidando así el papel central de la agricultura en la erradicación del hambre y en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Dentro de este panorama, la producción de hortalizas cumple un rol fundamental tanto en la economía rural como en la seguridad alimentaria (Padilla-Bernal et al., 2012). Este tipo de cultivo no solo representa una fuente constante de generación de ingresos y empleo, sino que también aporta nutrientes esenciales como fibra, caroteno, vitamina C, calcio y hierro, siendo indispensable en dietas equilibradas y en la agricultura de subsistencia (Regaber, 2024).

Su incorporación en sistemas protegidos, como los macrotúneles, permite mejorar su

rendimiento, controlar factores climáticos adversos y fomentar prácticas agrícolas sostenibles, especialmente cuando se integran tecnologías de riego por goteo que optimizan el uso del agua y favorecen el crecimiento saludable de las plántulas (Adame et al., 2021; Sánchez et al., 2011).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En muchas zonas rurales del Ecuador, la producción de hortalizas enfrenta limitaciones significativas debido a condiciones climáticas variables, uso ineficiente del agua y prácticas agrícolas tradicionales que dificultan el establecimiento adecuado de plántulas (Alvarado et al., 2014). Estas condiciones, sumadas al uso excesivo o inadecuado de insumos químicos, provocan una baja tasa de supervivencia en etapas iniciales del cultivo, menor calidad del producto y reducciones importantes en el rendimiento (Juárez et al., 2011).

Una de las causas principales de este problema es la falta de infraestructura que permita proteger el cultivo de factores ambientales adversos, especialmente durante la etapa crítica de germinación y desarrollo temprano (Padilla-Bernal et al., 2012). En consecuencia, los agricultores pequeños y medianos continúan enfrentando pérdidas recurrentes, limitando así su capacidad de producción, ingresos económicos y seguridad alimentaria (García et al., 2024).

Ante esta problemática, la implementación de sistemas de agricultura protegida, como los macrotúneles, en combinación con tecnologías de riego por goteo, representa una alternativa viable para optimizar las condiciones de crecimiento de las plántulas (Gómez et al., 2015). Estas tecnologías permiten controlar factores como la temperatura, la humedad y la disponibilidad de agua, lo cual favorece un desarrollo más uniforme y saludable de las plantas, al tiempo que promueven el uso eficiente de los recursos (IISD, 2017).

En este contexto, surge la necesidad de evaluar el efecto que tienen las condiciones de macrotúnel con riego por goteo sobre el desarrollo inicial de plántulas hortícolas, con el fin de validar esta estrategia como una opción técnica y sostenible para pequeños productores.

Pregunta de investigación

¿Cómo influye el uso de macrotúneles con sistema de riego por goteo en el crecimiento de plántulas de hortalizas en comparación con condiciones tradicionales a campo abierto?

JUSTIFICACIÓN

El establecimiento de plántulas saludables representa una etapa crítica en la producción

hortícola, ya que de ello depende el vigor, uniformidad y rendimiento del cultivo (Flores, 2023). En muchas regiones rurales, este proceso enfrenta desafíos asociados a condiciones ambientales inestables, escasa infraestructura productiva y manejo ineficiente del agua, lo que limita la productividad y sostenibilidad del sistema agrícola (García, 2012).

En este contexto, el uso de macrotúneles, como parte de la agricultura protegida, ofrece una solución efectiva para crear ambientes semi-controlados que favorecen el crecimiento inicial de las plantas (IISD, 2017). Estas estructuras permiten proteger los cultivos de factores climáticos adversos, como lluvias intensas, viento, temperaturas extremas o radiación solar directa, los cuales afectan especialmente la fase de plántula (Velásquez et al., 2014). Su implementación resulta especialmente relevante para pequeños productores que buscan mejorar la calidad de sus cultivos sin recurrir a infraestructuras de alto costo (Portillo, 2006).

Adicionalmente, el riego por goteo se consolida como una tecnología clave para el uso eficiente del agua, ya que permite una aplicación localizada, precisa y constante del recurso, optimizando su aprovechamiento durante las etapas de mayor demanda fisiológica del cultivo (Regaber, 2024). No obstante, en la práctica agrícola, la calidad del agua utilizada para riego suele evaluarse solo desde una perspectiva agronómica (adecuación al cultivo y condiciones de manejo), dejando de lado parámetros químicos fundamentales que podrían afectar el desarrollo inicial de las plantas (Bojórquez, 2008).

Por tanto, resulta necesario generar información técnica aplicada sobre la interacción entre ambientes protegidos como los macrotúneles y sistemas de riego tecnificado, centrando el análisis en el efecto que tienen sobre el crecimiento de plántulas hortícolas (Barcho et al., 2020; Flores, 2023). Este estudio no solo permitirá determinar la viabilidad de esta estrategia de manejo en zonas rurales con limitaciones edafoclimáticas, sino también contribuirá al diseño de sistemas productivos sostenibles, adaptados a los retos del cambio climático, la seguridad alimentaria y la optimización de recursos (Alvarado et al., 2014; Chávez Rodríguez et al., 2011).

El aporte principal de esta investigación radica en evaluar de manera integral el desarrollo de plántulas de hortalizas bajo condiciones de macrotúnel con riego por goteo, considerando factores técnicos que no se abordan habitualmente en estudios convencionales, como el análisis de microclima interno, eficiencia en el uso del agua y respuesta morfológica de las plántulas (Bojacá et al., 2012; Padilla-Bernal et al., 2012). Los resultados podrán ser utilizados como

base para fortalecer proyectos agroecológicos de pequeña escala, mejorar las capacidades productivas locales y promover la innovación tecnológica en sistemas agrícolas familiares.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el crecimiento de plántulas de hortalizas bajo condiciones de macrotúnel utilizando un sistema de riego por goteo.

Objetivos específicos

- Evaluar la altura, diámetro del tallo y número de hojas verdaderas en plántulas de pepino bajo macrotúnel con riego por goteo.
- Comparar el crecimiento de las variedades Marketmore y Jaguar durante los primeros 21 días de desarrollo.

Hipótesis

Hipótesis nula (H_0):

El uso de macrotúneles con sistema de riego por goteo no produce diferencias significativas en el crecimiento de plántulas de hortalizas respecto a las cultivadas a campo abierto.

Hipótesis alternativa (H_1):

El uso de macrotúneles con sistema de riego por goteo mejora significativamente el crecimiento de plántulas de hortalizas en comparación con las cultivadas a campo abierto.

CAPITULO I

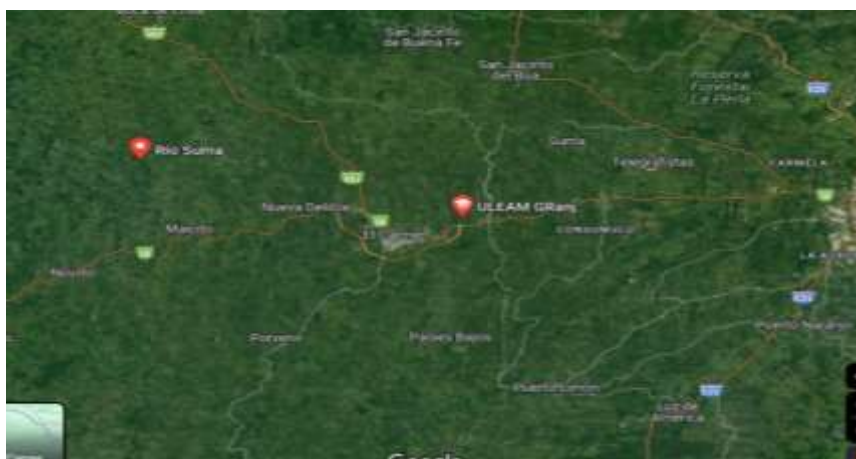
METODOLOGÍA

1.1 Localización de la unidad experimental

La investigación se realizó en las instalaciones de la Granja Experimental Río Suma, perteneciente a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, extensión El Carmen. El estudio se desarrolló específicamente en el área hortícola, dentro de un entorno controlado destinado a la producción vegetal.

Esta unidad forma parte de los espacios académicos y productivos de la universidad, orientados a la formación práctica, la investigación aplicada y el desarrollo agropecuario sostenible.

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)	249

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 observación directa del comportamiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) durante su etapa de plántula. Este método permitió registrar fenómenos asociados al desarrollo morfológico de las plantas en condiciones de macrotúnel, considerando variables ambientales como temperatura, humedad relativa y suministro hídrico mediante riego por goteo (Babbie, 1988). La experiencia práctica en el manejo del sistema de protección y riego contribuyó al entendimiento real del comportamiento del cultivo en condiciones controladas (Hidalgo, 2005).

1.3.2 Método experimental

La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental, en el que se establecieron tratamientos definidos para evaluar el efecto del ambiente protegido con macrotúnel y del sistema de riego por goteo sobre el crecimiento de plántulas de pepino (Hidalgo, 2005). Se manipularon variables como la temperatura del microclima y el volumen de agua aplicado, y se midieron respuestas morfológicas como la altura de la planta, número de hojas y desarrollo foliar (Corona-Lisboa, 2016). Este método permitió establecer relaciones causales entre las condiciones ambientales modificadas y la respuesta fisiológica del cultivo (Arias & Covinos Gallardo, 2021).

1.3.3 Método bibliográfico

El fundamento teórico y técnico del estudio se basó en una revisión bibliográfica rigurosa de fuentes científicas actualizadas (Hidalgo, 2005). Se incluyeron artículos de revistas indexadas, tesis de posgrado, documentos técnicos e informes institucionales relacionados con el cultivo de pepino, el uso de estructuras de protección como macrotúneles, tecnologías de monitoreo térmico y sistemas de riego eficientes (Corona-Lisboa, 2016). Esta revisión permitió sustentar la metodología empleada y la interpretación de los resultados experimentales (Arias & Covinos Gallardo, 2021).

1.3.4 Método observacional

Se utilizó el método observacional para registrar sistemáticamente el comportamiento de las plántulas de pepino dentro del macrotúnel. A través de observaciones periódicas, se documentaron parámetros de crecimiento y condiciones ambientales (Hidalgo, 2005).

Adicionalmente, se implementó una cámara térmica para monitorear la distribución de temperatura al interior del macrotúnel, lo que permitió evaluar la influencia térmica en el desarrollo del cultivo (Anderson et al., 1996). Este método facilitó la recolección de datos objetivos en un entorno protegido y sin alteraciones externas.

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 y riego por goteo. 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

Incluyeron literatura científica relacionada con el cultivo de pepino, estructuras protegidas, fisiología vegetal y eficiencia hídrica. La información se recopiló 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

El estudio se desarrolló en condiciones de macrotúnel plástico, donde se evaluaron dos variedades de pepino (*Cucumis sativus* L.): T1 (Marketmore) y T2 (Jaguar), con cinco repeticiones por tratamiento.

Dado que se compararon únicamente dos grupos independientes, el análisis estadístico se realizó mediante la prueba t de Student para muestras independientes, con el objetivo de determinar diferencias significativas entre las medias de las variables evaluadas. El nivel de significancia se estableció en $\alpha = 0,05$.

1.5.1 Materiales

- Semillas de hortalizas (variedades de pepino)
- Bandejas de germinación de 128 cavidades
- Sustrato (tierra de cacao, cal, cascarilla de arroz y biocompost.)
- Macrotúneles con cubierta plástica y con malla sombra
- Sistema de riego por goteo (líneas, goteros de 2 L/h, tanque elevado)

- Herramientas: regla milimétrica, calibre digital, balanza de precisión, termohigrómetro
- Software estadístico R Studio

1.5.2 Descripción de los tratamientos

Se establecieron dos tratamientos correspondientes a las variedades de pepino T1 (Marketmore) y T2 (Jaguar), cada uno con cinco repeticiones, lo que conformó un total de 10 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo constituida por 20 plantas, dispuestas uniformemente dentro del macrotúnel plástico bajo las mismas condiciones de manejo agronómico y sistema de riego por goteo. Esta distribución permitió garantizar la representatividad de los datos y la confiabilidad de las mediciones realizadas en cada tratamiento.

Tabla 2. *Tratamiento de estudio*

Tratamiento	Variedad	Condición de cultivo	Número de repeticiones
T1	Marketmore	Macrotúnel plástico con riego por goteo	4
T2	Jaguar	Macrotúnel plástico con riego por goteo	4

1.6 Instrumentos de investigación

1.6.1 Procedimiento experimental

Preparación del área experimental: Se acondicionó el espacio de ensayo instalando estructuras de macrotúnel con cobertura plástica y zonas sin cobertura (testigo). Se delimitaron las unidades experimentales de acuerdo con el diseño completamente al azar con cinco repeticiones.

Instalación del sistema de riego: Se implementó un sistema de riego por goteo en los tratamientos asignados. En los tratamientos sin goteo, se aplicó agua manualmente o se mantuvo en condiciones de secano, según el diseño experimental.

Siembra: Se utilizaron bandejas de germinación llenas con sustrato compuesto por tierra negra, arena y compost. Se sembraron semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.) a una profundidad uniforme, asegurando una distribución homogénea.

Ubicación de bandejas: Las bandejas se colocaron dentro de los respectivos tratamientos (macrotúnel con o sin riego) y se identificaron claramente para el seguimiento.

Monitoreo ambiental: Se instalaron sensores digitales para el registro diario de temperatura, humedad relativa y luminosidad en cada ambiente experimental. Los datos se recolectaron en intervalos constantes durante los 21 días del ensayo.

Manejo agronómico: No se aplicaron fertilizantes ni agroquímicos durante el experimento. El control de malezas se realizó manualmente para evitar interferencias en el desarrollo de las plántulas.

1.6.2 Medición de variables

A los 21 días después de la siembra se evaluaron las siguientes variables agronómicas en cinco plantas por unidad experimental:

- **Altura de plántula (cm):** medida desde la base del tallo hasta el ápice con regla milimetrada.
- **Número de hojas verdaderas:** conteo de hojas completamente desplegadas, excluyendo cotiledones.
- **Diámetro del tallo (mm):** determinado con calibrador digital a nivel del primer nudo.
- **Número de raíces:** conteo total de raíces principales por planta.
- **Estado sanitario:** evaluación visual y clasificación en sano, síntomas leves o severos.
- **Tiempo medio de germinación (TMG, días):** calculado según el número de plántulas emergidas por día.

1.6.3 Variables de interés

Variables independientes

- Variedades de pepino

Variables dependientes

- Porcentaje de germinación (%)
- Altura de plántula (cm)
- Diámetro del tallo (mm)
- Número de hojas
- Numero de raíces
- Porcentaje de plántulas trasplantables (%)

1.7 Análisis estadístico

Los datos obtenidos para cada variable fueron organizados en una base digital y sometidos a análisis estadístico inferencial. Debido a que se compararon únicamente dos tratamientos independientes (T1: Marketmore y T2: Jaguar), se aplicó la prueba t de Student para muestras independientes, con el fin de determinar diferencias significativas entre las medias.(Arias, 2012).

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: Dayana Maria Alava Mitte

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 dos variedades 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:

- Cascarilla de arroz quemada.
- Compost orgánico maduro.
- Suelo agrícola

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

1.8.4 Sistema de riego

El sistema de riego fue instalado en el área de vivero y adaptado a las condiciones del experimento para asegurar una distribución eficiente del agua. Se utilizó:

- Bomba de agua marca Ducati de 3 hp.
- 150 metros de manguera súper reforzada.
- 10 metros de manguera adicional.
- 5 metros de manguera de succión anillada reforzada color naranja (2”).
- 1 cheque de PVC de 2” color beige.
- 1 adaptador negro de 2”.
- 2 abrazaderas Hofetand W1 56–59 (2”).
- 1 acople rápido tipo A150 (1 ½”).
- 1 acople rápido tipo C150 (1 ½”).
- 2 abrazaderas Hofetand 40–43 W1 (1 ½”).
- 1 unión de aluminio de 1”.
- 3 abrazaderas Hofetand W1 32–36 (1”).
- 1 unión de aluminio de 1 ½” A1.
- 1 teflón amarillo grande marca Tauros.

Este sistema permitió mantener un régimen de riego uniforme y controlado durante todo el ensayo, con frecuencia de dos riegos diarios, ajustados según las condiciones climáticas.

1.8.5 Herramientas y equipos complementarios

- Regla milimetrada y calibrador para medición de altura y diámetro.
- Guantes, palas pequeñas y tamiz.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Enfoque productivo del cultivo bajo macrotúnel: una práctica de agricultura integrada

El sistema de producción que emplea macrotúneles con riego por goteo se enmarca dentro de la agricultura integrada, ya que combina prácticas sostenibles con un control parcial del ambiente (Zinkernagel et al., 2020). Este tipo de agricultura permite modificar las condiciones microclimáticas del cultivo sin llegar al nivel de automatización de un invernadero tecnificado, ofreciendo así un equilibrio entre eficiencia productiva y accesibilidad económica (Adame-García et al., 2024). Además, el uso racional de insumos, como fertilizantes o productos fitosanitarios autorizados, se alinea con los principios de manejo responsable de la agricultura integrada (FAO, 2013).

A diferencia de la agricultura convencional, que no integra todos los factores productivos ni contempla el manejo ambiental como prioridad, el enfoque integrado protege tanto el desarrollo del cultivo como la salud del consumidor y la economía del productor (Rodríguez-Lemus et al., 2018). Aunque no se trata de un sistema ecológico en sentido estricto, sí promueve la sostenibilidad mediante la eficiencia hídrica, el control de plagas y enfermedades, y la reducción del impacto climático durante la fase crítica de establecimiento de plántulas (Adame-García et al., 2024).

La agricultura integrada plantea un modelo de producción racional que combina prácticas tradicionales y tecnologías modernas, con el objetivo de alcanzar una producción eficiente, económicamente viable y ambientalmente responsable (Nahed-Toral et al., 2001). En este marco, el uso de macrotúneles se configura como una estrategia técnica coherente con los principios de este sistema, ya que permite crear un microambiente controlado que favorece el establecimiento y crecimiento saludable de las plántulas, especialmente en las fases iniciales donde son más vulnerables (Barcho et al., 2020).

La regulación pasiva de temperatura, humedad y exposición solar que ofrecen estas estructuras mejora las condiciones fisiológicas del cultivo sin recurrir al uso intensivo de insumos químicos, reduciendo así la presión sobre el medio ambiente (Feng et al., 2009). Este enfoque se adapta con eficacia a las condiciones de pequeños y medianos productores,

promoviendo un sistema de producción escalable, sostenible y resiliente frente a los desafíos climáticos y de seguridad alimentaria actuales (Benavente-Cárdenas et al., 2018).

Tabla 3. *Diferencias entre los tres sistemas agrícolas*

Variable	Convencional	Integrado	Ecológico
Normativa	Comunitaria, estatal y autonómica	Estatal y autonómica	Comunitaria, estatal y autonómica
Certificado	No emite	Emite	Emite
Agroquímicos	No hay uso restringido	Uso restringido, solo materias activas autorizadas	Productos naturales, no permite productos agroquímicos de síntesis
Factores de producción	No los integra todos	Los integra todos	Los integra todos
Medio ambiente	Existe una conciencia cada vez mayor; interesan las grandes producciones y el mayor beneficio al productor	Lo protege, así como la salud del consumidor y la economía del productor	Lo protege al igual que la salud del consumidor y, a medio plazo, la economía del productor
Cantidad y calidad	Ofrece productos en cantidad	Ofrece productos de calidad	Ofrece productos de alta calidad y seguridad alimentaria
Coste	Moderado	Moderado	Elevado
Sostenibilidad	No	Sí	Sí

Nota: adaptado de plántulas Portillo (2006).

2.2 Agricultura protegida y su evolución tecnológica

La agricultura protegida ha surgido como respuesta a los desafíos productivos y ambientales que enfrenta la agricultura convencional, especialmente en zonas con climas variables o suelos de baja fertilidad (Caraballo & Sánchez, 2004; Velásquez et al., 2014). Este sistema utiliza estructuras que permiten modificar parcialmente las condiciones microambientales del cultivo, incrementando la eficiencia del uso de recursos y la estabilidad productiva (Chávez Rodríguez et al., 2011).

Entre estas estructuras destacan los invernaderos, las casas malla, y los túneles en particular, los macrotúneles como herramientas accesibles para pequeños y medianos productores (Adame et al., 2021).

2.2.1 ¿Qué es un macrotúnel?

El macrotúnel es una estructura semicilíndrica, cubierta con plástico agrícola, que proporciona protección parcial al cultivo sin alcanzar los niveles de automatización de un invernadero climatizado (Pratt et al., 2019). Generalmente se compone de arcos de acero galvanizado o PVC, cubiertos con polietileno de alta densidad, y se instala directamente sobre el suelo (Portillo, 2006). Su principal función es modificar el microclima en la zona radicular y aérea de la planta, creando condiciones más estables y favorables para el establecimiento y crecimiento de plántulas (Velásquez et al., 2014).

Esta estructura destaca por su bajo costo, facilidad de instalación y adaptabilidad a diversas condiciones agroecológicas (Portillo, 2006). Aunque no permite un control ambiental total, su capacidad para aumentar la temperatura y reducir la humedad relativa en épocas frías o lluviosas representa una ventaja crítica durante la etapa de plántula, una de las fases más sensibles del cultivo (Adame et al., 2021).

2.2.2 Beneficios agronómicos del uso de macrotúneles

La implementación de macrotúneles en la producción hortícola permite:

- Proteger el cultivo de lluvias intensas, vientos fuertes y granizadas.
- Estabilizar la temperatura y humedad relativa en las fases iniciales.
- Reducir la incidencia de plagas y enfermedades foliares.
- Disminuir el uso de insumos químicos gracias al ambiente controlado.
- Favorecer la producción en ciclos fuera de temporada.
- Incrementar el porcentaje de supervivencia y uniformidad en las plántulas (Portillo, 2006).

2.2.3 Principales limitaciones

Pese a sus ventajas, los macrotúneles presentan ciertas limitaciones:

- Alta inversión inicial relativa al sistema abierto.
- Requieren mano de obra capacitada para el montaje y mantenimiento.
- Dependencia del tipo de plástico y su calidad óptica (difusión, termicidad, transmisión UV).

- Limitado control de variables ambientales si no se integran tecnologías adicionales (sensores, ventilación, automatización) plántulas (Portillo, 2006).

2.2.4 Importancia de la temperatura en los macrotúneles

Las plantas requieren una temperatura adecuada para llevar a cabo sus funciones vitales como el crecimiento, la reproducción y la supervivencia. En los invernaderos, el control térmico es esencial para garantizar el buen desarrollo de los cultivos (Solís-Mera, 2021). Comprender las necesidades térmicas de cada especie vegetal permite establecer condiciones óptimas, evitando límites que puedan afectar negativamente su fisiología (Portillo, 2006). Es fundamental diferenciar entre las temperaturas mínimas y máximas, tanto letales como biológicas, así como conocer el rango óptimo de crecimiento, para una gestión eficiente del ambiente protegido (Cruz-Andrés et al., 2018).

Tabla 4. *Requerimiento de temperatura de diferentes verduras en macrotúneles*

Tipo de Temperatura	Tomate	Pimiento	Berenjena	Pepino	Melón	Sandía
Temperatura mínima letal (°C)	0-2	-1,00	0,00	0,00	0,00	0-1 0
Temperatura mínima biológica (°C)	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12	10-12
Temperatura óptima (°C)	20-30	20-30	25-30	20-30	18-21	17-20
Temperatura máxima biológica (°C)	21-27	23-27	27-32	25-30	25-30	23-28
Temperatura máxima letal (°C)	33-38	33-35	43-53	31-35	33-37	33-37

Nota: adaptado de plántulas Portillo (2006).

2.2.5 Control de la humedad relativa en macrotúneles

En la producción de plántulas dentro de macrotúneles, la humedad relativa del aire representa un factor determinante para lograr un desarrollo saludable (Chávez Rodríguez et al., 2011). Este parámetro indica el nivel de vapor de agua en el aire en relación con su capacidad máxima de retención a una temperatura específica (Escamirosa-Tinoco et al., 2021). Existe una relación inversa entre temperatura y humedad relativa: al incrementarse la temperatura, el aire puede retener más vapor, reduciendo así la humedad relativa; en cambio, temperaturas más bajas provocan un aumento de esta (Solís-Mera, 2021).

Las plántulas requieren rangos de humedad específicos para evitar problemas fisiológicos. Por ejemplo, una humedad excesiva reduce la transpiración, limita el crecimiento y eleva el riesgo de enfermedades, mientras que niveles muy bajos favorecen la deshidratación y el mal cuajado (Chávez Rodríguez et al., 2011).

Es fundamental mantener la humedad en niveles óptimos usualmente entre 60% y 80% para muchas especies hortícolas en etapa de almácigo mediante ventilación adecuada, control térmico y monitoreo constante con equipos especializados (Solís-Mera, 2021). Un manejo preciso de la humedad dentro del macrotúnel permite reducir pérdidas y mejorar la calidad del trasplante (Portillo, 2006).

Figura 2. Equipos para la medición de temperatura y humedad relativa en macrotúneles



Nota: adaptado de plántulas Portillo (2006).

La regulación de la humedad relativa (HR) dentro de macrotúneles constituye un componente clave en la producción de plántulas vigorosas y sanas (Portillo, 2006). Cuando la HR es insuficiente, se puede elevar mediante técnicas como el riego por aspersión fina, la nebulización controlada y la reducción de la radiación solar mediante sombreo (Torres et al., 2017). No obstante, un aspecto fundamental es asegurar una ventilación adecuada, que cubra al menos el 30 % del área protegida, lo cual permite renovar el aire interno y evitar la acumulación de vapor (Zinkernagel et al., 2020).

Valores elevados de HR, especialmente por encima del 90 %, generan condiciones adversas que restringen la transpiración de las plantas, disminuyen la eficiencia fotosintética y favorecen la formación de condensaciones sobre el follaje (Adame et al., 2021). Este exceso de humedad superficial puede convertirse en un foco de enfermedades fúngicas (Chávez Rodríguez et al., 2011). Además, cuando las hojas amanecen mojadas, las plantas utilizan sus primeras reservas energéticas en evaporar el exceso de agua, retrasando su actividad metabólica (García-Lozano & Moreno-Fonseca, 2016).

En contraste, niveles de HR por debajo del umbral óptimo interfieren con procesos reproductivos cruciales como la polinización, lo que se traduce en una menor retención de flores y frutos en fases tempranas (Vargas-Canales et al., 2015). Por tanto, el uso de instrumentos precisos para la medición ambiental se vuelve imprescindible para tomar decisiones técnicas que aseguren un ambiente óptimo durante la etapa crítica del almácigo (Solís-Mera, 2021).

2.2.6 Importancia de la radiación y la temperatura en los macrotúneles

La temperatura es un factor ambiental que guarda una estrecha relación con la radiación solar, ya que esta se convierte en energía térmica (Solís-Mera, 2021). En los macrotúneles, esta función resulta esencial, pues las estructuras plásticas y metálicas permiten captar energía calórica durante el día, almacenarla y liberarla progresivamente por la noche, cuando las temperaturas descienden (Adame et al., 2021). Este equilibrio térmico favorece procesos vitales como la fotosíntesis y la respiración en las plántulas, manteniendo un desarrollo continuo a lo largo del ciclo diurno y nocturno (Zinkernagel et al., 2020).

Figura 3. *Presentación del efecto invernadero en estructuras protegidas*



Nota: adaptado de plántulas Portillo (2006).

Durante el día, la planta activa el proceso de fotosíntesis al captar dióxido de carbono (CO_2) y agua, transformando la energía solar en compuestos orgánicos útiles. En la noche, predomina la respiración, durante la cual se libera CO_2 y se consume oxígeno. Esta dinámica exige que el ambiente dentro del macrotúnel conserve condiciones térmicas y lumínicas estables (Chávez Rodríguez et al., 2011).

2.2.7 Selección de plástico para cubiertas de invernadero

Uno de los elementos más determinantes en el microclima de un macrotúnel es la elección del plástico que cubre la estructura. Este material regula la cantidad de luz solar que ingresa, su calidad, y la retención de calor en el interior. Para maximizar su eficiencia, el plástico debe poseer características ópticas que equilibren transmisión, difusión y protección frente a la radiación ultravioleta, adaptándose a las condiciones del cultivo y la región.

Tabla 5. *Propiedades Ópticas recomendadas para plásticos de cubierta en invernaderos*

Propiedad óptica	Valor (%)
Transmisión de luz total	> 80
Transmisión de luz directa (no difusa)	< 25
Difusión de la luz	> 70
Transmisión de luz UV (<400 nm)	< 10
Termicidad (efecto invernadero)	> 75

Nota: adaptado de plántulas Portillo (2006).

2.2.8 Acciones para mejorar o aumentar la luz en un macrotúnel

- Orientar el macrotúnel en dirección este-oeste para captar mayor radiación solar.
- Mantener limpias las cubiertas plásticas, evitando la acumulación de polvo, agua o algas.
- Evitar la presencia de estructuras o vegetación que proyecten sombra sobre el macrotúnel.
- Utilizar plásticos con alta transmisión de luz (>80%) y buena difusión interna (>70%).
- Aplicar iluminación artificial complementaria en condiciones de baja radiación, como lámparas de sodio o LED agrícolas.
- Reducir la densidad de siembra si es necesario, para permitir una mejor penetración de la luz.
- Eliminar mallas o materiales que reduzcan la luminosidad en horarios donde se requiere mayor intensidad.

2.3 Morfología del *Cucumis sativus*

2.3.1 Raíces

El pepino presenta un sistema radicular profundo, aunque la mayor parte de las raíces se concentra en los primeros 45 cm del suelo (Chacón-Padilla et al., 2020).. Posee una raíz

principal de la que emergen raíces secundarias y adventicias, estas últimas encargadas de facilitar la absorción de agua y nutrientes, contribuyendo a la adaptación de la planta a diferentes tipos de suelos (InfoAgro, 2022).



Figura 4. *Sistema radicular del pepino*

Nota. tomado de InfoAgro (2022).

2.3.2 Tallo

El tallo es herbáceo, anguloso y de hábito rastrero o trepador. A partir del eje principal surgen ramas laterales (Chacón-Padilla et al., 2020). Su longitud puede superar los 3 metros en condiciones óptimas, lo que le permite expandirse tanto en el suelo como en estructuras verticales, gracias a la presencia de zarcillos (Bojacá et al., 2012).



Figura 5. *Tallo anguloso, herbáceo y rastrero*

Nota. tomado de InfoAgro (2022).

2.3.3 Hojas

Las hojas son simples, con forma acorazonada y margen lobulado (Bojacá et al., 2012). Pueden medir entre 10 y 30 cm y están cubiertas por una vellosidad fina que protege contra insectos y reduce la pérdida de agua (Lozano, 2011). Su coloración es verde oscuro y presentan una nervadura marcada (Zhang et al., 2012).



Figura 6. Forma de la hoja del pepino (*Cucumis sativus*) simples y alargadas

Nota. Tomado de InfoAgro (2022).

2.3.4 Zarcillo

Los zarcillos son órganos modificados que le permiten a la planta trepar y fijarse a estructuras de soporte (García y Soliz, 2016). Son simples, sin ramificaciones, y fundamentales para el crecimiento vertical del cultivo (Bojacá et al., 2012).

2.3.5 Flores

El pepino es una especie monoica, es decir, desarrolla flores masculinas y femeninas en la misma planta (Mendoza, 2017). Las masculinas se agrupan en racimos y contienen estambres, mientras que las femeninas suelen ser solitarias y presentan un ovario en su base que se transforma en fruto tras la polinización (Lozano, 2011). Ambas flores son de color amarillo y miden entre 3 y 4 cm de diámetro (InfoAgro, 2022).

La flor masculina del pepino crece generalmente en racimos a lo largo del tallo y se caracteriza por tener solo estambres, los cuales producen el polen necesario para la fecundación (Menezes, 1994). Estas flores son ligeramente más pequeñas que las femeninas y no presentan un ovario en la base, ya que su única función es generar el polen que será transferido a las flores femeninas (Poot-Salazar et al., 2015).

Por otro lado, la flor femenina del pepino suele desarrollarse de manera solitaria y se distingue fácilmente por el pequeño ovario en su base, que se asemeja a una miniatura del fruto y se convertirá en el pepino tras la polinización (Ortega-Torres et al., 2020).



Figura 7. Forma de la flor del pepino (*Cucumis sativus*) femenina (a) y masculina (b)

Nota. Tomado de InfoAgro (2022).

2.3.6 Frutos

El fruto es una baya modificada denominada pepónide, de forma alargada y superficie rugosa. Su longitud varía entre 15 y 35 cm (Mendoza, 2017). La epidermis puede ser oscura o clara, y en estadios tempranos está cubierta por espinas cerosas que desaparecen al madurar (InfoAgro, 2022).

2.3.7 Semilla

Las semillas de pepino tienen una forma ovalada, ligeramente aplanada, y presentan un color blanco amarillento (Soza, 2023). Un solo fruto puede contener hasta 250 gramos de semillas. Además, las semillas mantienen su capacidad germinativa por hasta cinco años, siempre y cuando se conserven en condiciones adecuadas de almacenamiento (Sánchez Del Castillo et al., 2014).

2.4 ANTECEDENTES

INVESTIGACIONES EXPERIMENTALES AFINES AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Se evaluó la eficiencia del riego por goteo en dos macrotúneles en Zamorano, identificando problemas de uniformidad que generaron una distribución desigual de agua y nutrientes. Esto provocó tanto deficiencias como exceso, con riesgo de fitotoxicidad. Se compararon goteros tipo botón y flecha, siendo los primeros más uniformes y precisos. La conductividad eléctrica del agua disminuyó hacia el extremo del sistema, lo que sugiere pérdidas de fertilizante, mientras que el pH se mantuvo entre 6 y 7. A pesar de un inicio deficiente, el sistema mejoró

con ajustes operativos. Se concluye que el monitoreo y mantenimiento son esenciales para lograr una fertirrigación eficiente (Lynch, 2006).

El proyecto Macrotúneles, impulsado por el Ingenio Pantaleón, UVG y SIFE UVG, buscó mejorar las condiciones de vida de cortadores de caña mediante tecnologías hortícolas y formación empresarial. Inició con una fase piloto en Cunén, Quiché, donde se instalaron los primeros macrotúneles y se desarrollaron manuales técnicos. Luego se expandió a otras regiones y alcanzó la instalación de diez estructuras en un año. Para garantizar su sostenibilidad, se creó un programa de microcréditos, superando la limitación de capital inicial. El modelo fortaleció la autonomía productiva y representa un caso exitoso de emprendimiento rural (Chávez Rodríguez et al., 2011).

En otro estudio, se cultivó chile de agua en macrotúneles con diferentes cubiertas. El plástico verde elevó la temperatura y la humedad, aumentando fenoles y capacidad antioxidante, mientras que los flavonoides fueron mayores en campo abierto. El microclima generado por estas cubiertas influye directamente en los compuestos bioactivos del fruto, lo que confirma su potencial para la agricultura con valor agregado (Cruz-Andrés et al., 2018).

El presente estudio se llevó a cabo en Finca González, ubicada en el Parcelamiento Las Nubes, Bárcenas, Villa Nueva, Guatemala. Su objetivo consistió en diagnosticar las condiciones generales de la finca y evaluar el comportamiento agronómico y económico de cuatro híbridos de tomate tipo Roma (*Solanum lycopersicum* L.) bajo sistema protegido de macrotúnel. La finca cuenta con una extensión de 15,5 hectáreas. En la primera fase se realizó el diagnóstico productivo, identificando recursos y limitantes. En la segunda fase se evaluaron los híbridos Elios, Retana y otros dos materiales comerciales, debido a la importancia del tomate como hortaliza de consumo en Guatemala. El uso de macrotúneles permitió mejorar las condiciones de cultivo, principalmente al reducir la incidencia de insectos vectores de enfermedades virales como geminivirus y fitoplasmas, gracias al uso de cubiertas sintéticas de polipropileno que regulan temperatura, humedad y radiación. En términos de crecimiento, el híbrido Elios alcanzó la mayor altura con 166 cm. Sin embargo, el híbrido Retana sobresalió en cuajado, rendimiento, diámetro y peso de fruto, logrando una producción de 50,112 kg/ha (2,205 cajas), lo que representó un 22 % más que la producción a campo abierto. En cuanto a rentabilidad, todos los híbridos fueron viables bajo condiciones protegidas, aunque el híbrido Helios mostró la mejor relación beneficio/costo con un valor de 1.44, indicando una ganancia de 0,44 por cada quetzal invertido (Hernández, 2017).

La producción de cultivos de alto valor requiere un control riguroso desde la etapa de plántula, buscando obtener plantas sanas, compactas y con pilón bien formado. Este estudio evaluó el desarrollo de plántulas de pepino, melón y sandía bajo condiciones de macrotúnel, empleando tres tipos de bandeja (200, 162 y 128 alveolos) y dos condiciones de sombra: con y sin cobertura de sarán al 30 %. Se registraron diariamente la temperatura y la intensidad lumínica. Las variables analizadas incluyeron porcentaje de germinación, formación de pilón y altura al momento del trasplante. El diseño experimental correspondió a parcelas divididas con un arreglo factorial 3×2 y tres repeticiones. Los resultados mostraron que el uso de sarán provocó mayor elongación en las plántulas y menor desarrollo del pilón. En el caso del pepino, la sombra también redujo la germinación. La bandeja de 128 alveolos generó plántulas más altas y con menos pilones bien formados. Por otro lado, las bandejas de 162 y 200 alveolos mejoraron la formación del pilón, aunque sin evitar el alargamiento excesivo. En conjunto, ningún tratamiento evaluado logró producir plántulas compactas y con buen desarrollo de pilón para los tres cultivos analizados (Enea, 2011).

CAPITULO III

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1 Descripción del sistema

En el marco del estudio titulado “Crecimiento de plántulas de hortalizas en condiciones de macrotúnel con sistema de riego por goteo”, se implementó una estructura tipo macrotúnel cubierta con malla sarán, diseñada para regular parcialmente las variables ambientales que inciden en la fase inicial de crecimiento de las plántulas.

El macrotúnel 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 70 %, 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 sistema de riego por goteo se instaló con líneas equidistantes de distribución, garantizando una aplicación uniforme de agua en la zona radicular. La interacción entre el sombreado controlado y la hidratación localizada promovió una humedad óptima en el sustrato, mejorando la eficiencia del uso del agua durante la fase de establecimiento de las plántulas.

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.

Tabla 6. *Desglose de gastos de implementación del macrotunel*

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 70 %	89,1 m ² × 1,85 USD/m ²	89,1	1,85	164,84
Mano de obra	Montaje (4 jornales)	4	30	120
Transporte	Flete local	1	25	25
Subtotal				685,95
IVA 15 %				98,39
TOTAL				784,34

El costo total estimado para la construcción del macrotúnel con malla sarán alcanzó los USD 784,33, siendo los componentes metálicos el rubro de mayor incidencia económica. Los tubos galvanizados representaron aproximadamente el 30 % del presupuesto, seguidos por los elementos de unión y fijación (codos, abrazaderas, tornillos y cables), que concentraron un 16 % adicional. La malla sarán al 70 % de sombra, empleada como cobertura principal, aportó cerca del 22 % del total, mientras que la mano de obra destinada al montaje estructural correspondió al 12 %.

Las partidas destinadas a anclaje, cimentación y transporte sumaron en conjunto un 6 % del gasto total. Los materiales predominantes tubos galvanizados y malla de polietileno con aditivo UV se identificaron como los más determinantes por su resistencia, durabilidad y capacidad de mantener un microclima estable con bajo mantenimiento.

3.2 Diseño y selección de tecnologías a implementar

El sistema tecnológico se basó en la construcción de un macrotúnel de malla sarán al 70 % de sombra, diseñado para crear un ambiente moderadamente protegido que favoreciera el desarrollo inicial de plántulas 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 plántulas.

Figura 8. *Instalación de la malla sarán en la estructura del macrotúnel para el establecimiento de plántulas de pepino*



El sistema de riego por goteo se incorporó como tecnología complementaria, compuesto por líneas equidistantes y goteros autocompensantes, lo que permitió una aplicación precisa del agua directamente en la zona radicular. Este diseño garantizó un uso eficiente del recurso hídrico y un control adecuado de la humedad del sustrato durante el periodo de evaluación.

Tabla 7. *Materiales e insumos utilizados para la construcción del macrotúnel y establecimiento del vivero*

Categoría	Material / Insumo	Unidad	Cantidad
Estructura metálica	Tubo galvanizado 2" (6 m)	unid	24
	Codos galvanizados 90°	unid	10
	Abrazaderas metálicas	unid	120
	Cable acerado 3/16"	m	46
	Tornillos + tuerca galvanizados	unid	80
Base y anclaje	Cemento Portland (50 kg)	saco	2
	Arena fina	m ³	0,3
Mano de obra y montaje	Mano de obra	jornal	3
Coberturas del macrotúnel	Lámina infralene calibre 7	m ²	89,1
	Malla sarán 70 %	m ²	89,1
Implementos de vivero	Semilla de cedro	libra	2

Ambas tecnologías malla sarán y riego por goteo fueron seleccionadas por su bajo costo, durabilidad y adaptabilidad a condiciones tropicales, permitiendo establecer un entorno de producción sostenible y replicable para la fase de viverización de hortalizas.

Figura 9. Distribución de tratamientos y repeticiones de plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedades Marketmore y Jaguar bajo macrotúnel con malla sarán



Figura 10. Plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo macrotúnel de malla sarán con sistema de riego por goteo



3.2.1 Sistema de riego por goteo

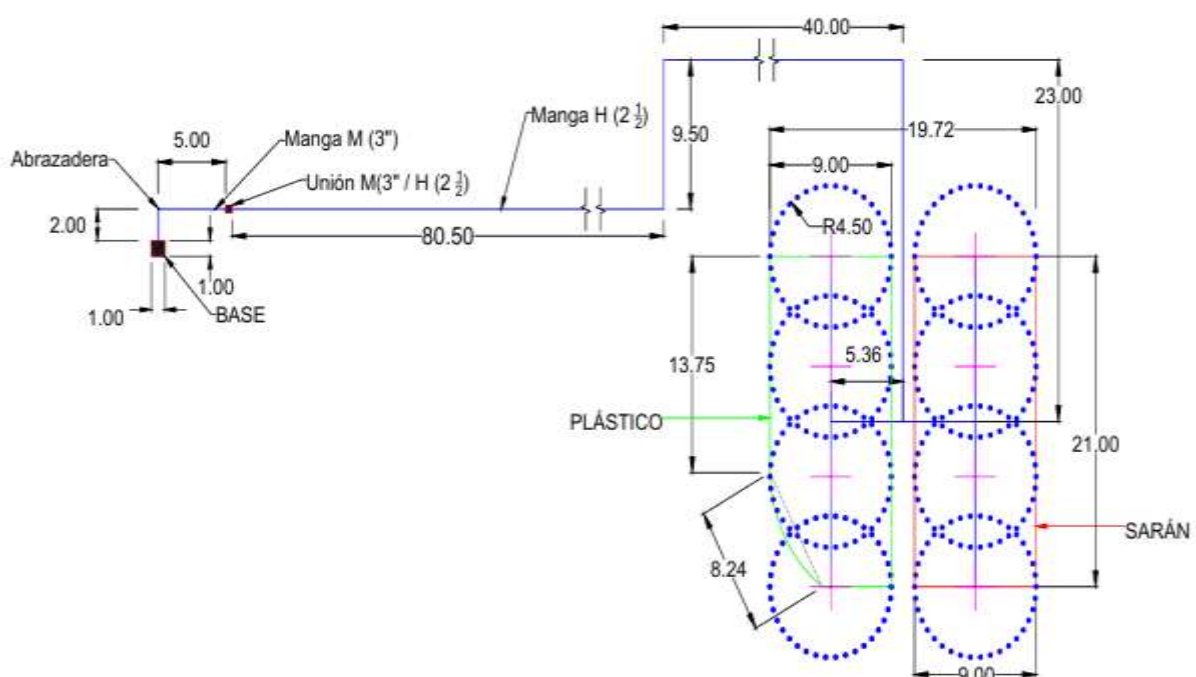
El diseño hidráulico del sistema de riego se desarrolló específicamente para el macrotúnel de malla sarán, donde se establecieron las plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) de las variedades Marketmore y Jaguar. La finalidad fue garantizar una distribución uniforme del agua y mantener condiciones hídricas estables en el sustrato durante la etapa de viverización.

El sistema se configuró a partir de una línea principal conectada a una bomba centrífuga de 0,5 HP, capaz de generar una presión de trabajo de 25–30 psi, adecuada para asegurar un caudal constante en todas las ramificaciones. La conducción se realizó mediante tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD) de 1" y $\frac{3}{4}$ ", unidas por mangas, uniones y abrazaderas galvanizadas que facilitaron el ensamblaje y la estabilidad del circuito hidráulico.

La red de distribución incluyó una derivación en forma de "L", desde la cual se alimentaron las líneas secundarias de goteo equipadas con emisores autocompensantes. Los goteros se ubicaron estratégicamente con espaciamiento uniforme, generando una lámina de riego promedio de 3–4 mm por evento, lo que permitió mantener una humedad óptima en la zona radicular sin provocar saturación ni escurrimientos superficiales.

El croquis técnico (Figura 10) muestra la disposición general del sistema, en el que se aprecia la ubicación de la base, uniones, mangas y distribución de líneas de riego, así como la zona de cobertura de malla sarán, que regula el ingreso de radiación solar y evita pérdidas de humedad. Este diseño permitió un manejo agronómico eficiente, bajo consumo energético y alta uniformidad en la hidratación del sustrato, contribuyendo al crecimiento vigoroso y homogéneo de las plántulas de pepino.

Figura 11. Croquis técnico del sistema de riego por goteo implementado en el macrotúnel de malla sarán para plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.)



3.3 Plan de implementación

Descripción	Funcionamiento	Imagen
Preparación del sustrato	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.	
Llenado de fundas de polietileno	Se emplearon fundas de 1 kg de capacidad, rellenas con el sustrato preparado. El material se compactó ligeramente para eliminar espacios de aire y facilitar el enraizamiento de las plántulas. Cada funda se identificó según el tratamiento y repetición correspondiente.	
Estructura del macrotúnel	Se instaló un macrotúnel de 9 × 9 m (81 m ²) cubierto con malla sarán al 70 %, 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.	
Sistema de riego por goteo	El sistema se compuso de una bomba centrífuga de 0,5 HP, tuberías de PEAD de 1" y ¾", y gotero autocompensante ubicado junto a cada planta. Este mecanismo permitió una distribución homogénea del agua y una lámina de riego controlada entre 3 y 4 mm por evento, manteniendo la humedad del sustrato sin saturarlo.	
Siembra y disposición experimental	Se sembraron dos variedades de pepino (<i>Cucumis sativus</i> L.), Marketmore (T1) y Jaguar (T2), cada una con cuatro repeticiones. Las plántulas se distribuyeron equidistantemente bajo el macrotúnel, garantizando uniformidad en la exposición a la luz y el riego.	

3.4 Resultados y discusión

3.4.1 Porcentaje de germinación (%)

La comparación del porcentaje de germinación entre las variedades Marketmore (T1) y Jaguar (T2) se realizó mediante la prueba t de Student para muestras independientes. El análisis evidenció que no existieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($t(8) = 1,00$; $p = 0,3903$; $\alpha = 0,05$). La variedad Marketmore presentó una media de 91,75 %, mientras que Jaguar registró 91,25 %, con varianzas similares entre ambos grupos. La diferencia de medias fue de 0,50 %, y el intervalo de confianza al 95 % para dicha diferencia osciló entre -0,69 y 1,69, lo que confirma que el valor cero se encuentra dentro del rango de estimación, corroborando la ausencia de significancia estadística.

Tabla 8. Porcentaje de germinación de plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedades Marketmore y Jaguar bajo macrotúnel con malla sarán

	Grupo 1	Grupo 2
	T1: Marketmore	T2: Jaguar
Media	91,75	91,25
Varianza	0,1444	0,1444
Media (1) – Media (2)	0,5	
LI (95%)	-0,69	
LS (95%)	1,69	
t	1	
gl	8	
p-valor	0,3903	

3.4.2 Damping-off (%) – Número de plantas afectadas

La comparación de la incidencia de Damping-off entre las variedades Marketmore (T1) y Jaguar (T2) se realizó mediante la prueba t de Student para muestras independientes. El análisis indicó que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($t(8) = 0,69$; $p = 0,3903$; $\alpha = 0,05$). La variedad Marketmore presentó una incidencia promedio de 1,50 %, mientras que Jaguar registró 1,25 %. La diferencia de medias fue de 0,25 %, y el intervalo de confianza al 95 % (-0,60 a 1,10) incluyó el valor cero, lo que confirma la ausencia de significancia estadística.

Tabla 9. Incidencia de Damping-off (%) en plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedades Marketmore y Jaguar bajo Macrotúnel con malla sarán

	Grupo 1	Grupo 2
	T1: Marketmore	T2: Jaguar
Media	1,50	1,25
Varianza	0,0729	0,0729
Media (1) – Media (2)	0,25	
LI (95%)	-0,60	
LS (95%)	1,10	
pHomVar	> 0,05	
t	0,69	
gl	8	
p-valor	0,3903	

Estudios previos en pepino han demostrado que enfermedades como el damping-off pueden provocar pérdidas importantes durante la etapa de plántula en viveros con ambiente húmedo y pobre ventilación (Hassan et al., 2021).

3.4.3 Altura de la planta (cm)

La comparación de la altura de plántulas a los 7 días después de la siembra evidenció diferencias estadísticas significativas entre las variedades evaluadas $t(8) = 7,36$; $p < 0,0001$; $\alpha = 0,05$). La variedad Marketmore (T1) presentó una altura promedio de $5,13 \pm 0,11$ cm, mientras que Jaguar (T2) registró $4,32 \pm 0,11$ cm. La diferencia de medias fue de 0,81 cm, con un intervalo de confianza al 95 % entre 0,55 y 1,07 cm, el cual no incluyó el valor cero, confirmando la significancia estadística.

Tabla 10. *Altura promedio de plántulas de pepino (Cucumis sativus L.) variedades Marketmore y Jaguar bajo macrotúnel con malla sarán a los 7 días después de la siembra*

	Grupo 1	Grupo 2
	T1: Marketmore	T2: Jaguar
Media (cm)	5,13	4,32
E.E.	0,11	0,11
Media (1) – Media (2)	0,81	
LI (95%)	0,55	
LS (95%)	1,07	
t	7,36	
gl	8	
p-valor	<0,0001	

A los 14 días, la prueba t de Student mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos ($t(8) = 5,61$; $p < 0,0001$; $\alpha = 0,05$). Marketmore alcanzó una altura promedio de $10,81 \pm 0,23$ cm, mientras que Jaguar presentó $9,52 \pm 0,23$ cm. La diferencia de medias fue de

1,29 cm, con un intervalo de confianza al 95 % entre 0,76 y 1,82 cm, lo que confirma la superioridad estadística de T1 en esta etapa fenológica.

Tabla 11. Prueba *t* de Student para la altura de plántulas (cm) a los 14 días después de la siembra

	Grupo 1	Grupo 2
	T1: Marketmore	T2: Jaguar
Media (cm)	10,81	9,52
E.E.	0,23	0,23
Media (1) – Media (2)	1,29	
LI (95%)	0,76	
LS (95%)	1,82	
t	5,61	
gl	8	
p-valor	<0,0001	
CV (%)	21,39	

A los 21 días después de la siembra no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre las variedades ($t(8) = 1,04$; $p = 0,3197$; $\alpha = 0,05$). La variedad Marketmore presentó una altura promedio de $11,38 \pm 0,22$ cm, mientras que Jaguar alcanzó $9,97 \pm 0,22$ cm. Aunque la diferencia numérica fue de 1,41 cm, el intervalo de confianza al 95 % incluyó el valor cero, lo que indicó ausencia de significancia estadística.

Tabla 12. Prueba *t* de Student para la altura de plántulas (cm) a los 21 días después de la siembra

	Grupo 1	Grupo 2
	T1: Marketmore	T2: Jaguar
Media (cm)	11,38	9,97
E.E.	0,22	0,22
Media (1) – Media (2)	1,41	
LI (95%)	-1,40	
LS (95%)	4,22	
t	1,04	
gl	8	
p-valor	0,3197	
CV (%)	28,55	

Luna (2013), determinó que los sustratos con compost, bokashi, arena y carbón vegetal promovieron mayor altura en plantas de pepino, evidenciando la influencia del sustrato en el crecimiento inicial. De forma similar, en este estudio, las plántulas cultivadas bajo macrotúnel

con malla sarán y riego por goteo alcanzaron alturas promedio de 5,13 cm a los 7 días, 11,81 cm a los 14 días y 10,38 cm a los 21 días en la variedad Marketmore, mientras que Jaguar registró 4,32 cm, 9,52 cm y 9,97 cm en los mismos periodos.

3.4.4 Diámetro del tallo (mm)

A los 7 días después de la siembra, se observaron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($t(8) = 8,50$; $p < 0,0001$; $\alpha = 0,05$). La variedad Marketmore presentó un diámetro promedio de $2,43 \pm 0,12$ mm, mientras que Jaguar registró $1,41 \pm 0,12$ mm. La diferencia entre medias fue de 1,02 mm, lo que evidenció mayor vigor inicial en T1. El coeficiente de variación fue de 12,07 %, indicando baja dispersión de los datos.

A los 14 días, se mantuvo la diferencia estadística significativa $t(8) = 3,36$; $p < 0,0001$). Marketmore alcanzó un diámetro promedio de $3,07 \pm 0,22$ mm, mientras que Jaguar obtuvo $2,33 \pm 0,22$ mm, con una diferencia de 0,74 mm. El coeficiente de variación fue de 11,34 %, reflejando uniformidad en el crecimiento intermedio.

En contraste, a los 21 días después de la siembra no se detectaron diferencias significativas entre variedades ($t(8) = 0,38$; $p = 0,7077$). Marketmore presentó un promedio de $3,38 \pm 0,29$ mm y Jaguar $2,80 \pm 0,22$ mm. Aunque la diferencia numérica fue de 0,58 mm, esta no resultó estadísticamente significativa. El coeficiente de variación fue de 22,54 %, lo que evidenció mayor variabilidad en esta etapa final de evaluación.

Tabla 13. *Diámetro promedio del tallo (mm) de plántulas de pepino (Cucumis sativus L.) variedades Marketmore y Jaguar bajo macrotúnel con malla sarán a los 7, 14 y 21 días después de la siembra*

Parámetro	7 días	14 días	21 días
Media T1 (Marketmore)	2,43	3,07	3,38
Media T2 (Jaguar)	1,41	2,33	2,80
Diferencia (T1 – T2)	1,02	0,74	0,58
t	8,50	3,36	0,38
gl	8	8	8
p-valor	<0,0001	<0,0001	0,7077
CV (%)	12,07	11,34	22,54

Los resultados mostraron que la variedad Marketmore presentó mayor diámetro de tallo durante los primeros 14 días, lo que evidencia un crecimiento más vigoroso en condiciones de

sombra parcial. Jara (2018), señalaron que el sombreamiento moderado en pepino reduce el estrés térmico y favorece la lignificación temprana del tallo. De igual forma, Mata et al., (2018), indicaron que el riego por goteo estabiliza la humedad del sustrato, incrementando el grosor del tallo en plántulas jóvenes.

3.4.5 Hojas verdaderas

A los 14 días después de la siembra (DDS), las plántulas de la variedad Marketmore presentaron un promedio de $2,20 \pm 0,02$ hojas verdaderas, mientras que Jaguar alcanzó $1,91 \pm 0,02$ hojas, sin diferencias estadísticas significativas ($p = 0,1568$). A los 21 DDS, Marketmore mantuvo una ligera superioridad con $3,07 \pm 0,22$ hojas, frente a $2,33 \pm 0,22$ en Jaguar ($p = 0,1222$). El coeficiente de variación fue bajo a los 14 DDS (10,05 %) y moderado a los 21 DDS (24,10 %), lo que refleja uniformidad experimental y variación fisiológica natural al final del crecimiento temprano.

Tabla 14. Número promedio de hojas verdaderas en plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedades Marketmore y Jaguar bajo macrotúnel con malla sarán a los 14 y 21 días después de la siembra

Parámetro	14 días	21 días
Media T1 (Marketmore)	2,20	3,07
Media T2 (Jaguar)	1,91	2,33
Diferencia (T1 – T2)	0,29	0,74
t	1,59	1,70
gl	8	8
p-valor	0,1568	0,1222
CV (%)	10,05	24,10

Morales et al. (2020) señalaron que el uso de mallas de sombreo del 70 % y riego por goteo favorece la expansión foliar constante y reduce la abscisión temprana de hojas, al mantener una humedad estable y reducir el estrés por radiación.

3.4.6 Número de raíces

Los resultados obtenidos mostraron que no existieron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre las variedades evaluadas. La variedad Marketmore (T1) presentó un promedio de $13,5 \pm 0,68$ raíces, mientras que Jaguar (T2) registró $13,0 \pm 0,68$ raíces. Esta similitud indica que ambas variedades desarrollaron un sistema radicular equilibrado bajo las mismas condiciones de manejo y microclima Anexo 1.

El ambiente protegido del macrotúnel con malla sarán y el suministro uniforme de agua mediante riego por goteo favorecieron la formación y elongación radicular sin restricciones por estrés hídrico o térmico (Mata et al., 2018).

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El cultivo de plántulas de pepino bajo macrotúnel con malla sarán y riego por goteo favoreció un crecimiento uniforme y estable, garantizando condiciones óptimas de temperatura y humedad durante las primeras tres semanas de desarrollo.
- La variedad Marketmore mostró mejores promedios en altura (11,81 cm) y diámetro del tallo (3,07 mm) durante los primeros 14 días, evidenciando mayor vigor inicial en comparación con Jaguar, aunque ambas alcanzaron valores similares al día 21.
- El número de hojas verdaderas no presentó diferencias significativas entre variedades, con promedios de 3,07 en Marketmore y 2,33 en Jaguar, lo que indica una adaptación fisiológica semejante bajo las mismas condiciones de cultivo protegido.

4.2 Recomendaciones

- Emplear macrotúneles con malla sarán del 70 % para mejorar el crecimiento inicial de plántulas de pepino.
- Mantener riego por goteo uniforme para conservar la humedad óptima del sustrato.
- Priorizar el uso de variedades vigorosas como Marketmore por su mejor adaptación en fase temprana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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-mydl.org/portal/wp-content/uploads/2021/12/redreducido.pdf>
- 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.
- Alvarado, M., Díaz Franco, A., & Peña del Río, M. de los Á. (2014). Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(3), 513-518.
- Anderson, G. J., Jansen, R. K., & Kim, Y. (1996). El Origen y Relaciones del Pepino, *Solanum muricatum* (Solanaceae). *Economic Botany*, 50(1), 369-380.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica* (6ta ed.). Fideas G.
- Arias, J. L., & Covinos Gallardo, M. (2021). Diseño y metodología de la investigación. *Enfoques Consulting EIRL*, 1(1), 66-78.
- Babbie, E. (1988). Métodos de investigación por encuesta. En *Métodos de investigación por encuesta* (pp. 439-439).
- Barcho, M. K., Otto, O. V., oglu Hajiyev, H. A., Samusenkov, V. O., Korshunova, L. N., Vikhrova, N. O., & Nikulin, N. N. (2020). Basic directions for forming perspective forms of agricultural integration. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 8(1), 960.
- Benavente Cárdenas, C., Camargo Salcedo, P., Sarmiento Sarmiento, G., & Mena Chacón, L. (2018). Evaluación del desarrollo de la agricultura periurbana y propuesta de gestión integral en el distrito de Cayma, Arequipa, Perú. *Idesia (Arica)*, 36(3), 53-61.
- 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.
- Caraballo, P., & Sánchez, C. (2004). *Macro-invertebrados asociados con Eichhornia crassipes en el Embalse de el Guajaro (Atlántico, Colombia)* (Memorias XXXIX Congreso Nacional de Ciencias Biologicas. No. 13).
- 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*.
- 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.
- 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 panamericana «Zamorano»]. <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.
- FAO. (2013). *Manual de compostaje del agricultor, Experiencia en América Latina. Santiago de Chile*.
- Feng, K., Zhang, J., & Yingwei, H. (2009). Review of China's agricultural integration development: 1978-2008. *China Agricultural Economic Review*, 1(4), 459-477.
- 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.
- García, J. A., Cuevas, F. D. M., Viveros, J. A. F., Mireles, H. C., & Castillo, R. C. (2024). Efecto de bioestimulantes microbianos en plántulas y frutos de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) producidos en macrotúnel.: Bioestimulantes en chile jalapeño. *Revista Bio Ciencias*, 11. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1566>
- García, J., & Soliz, C. (2016). *Influencia del tutorado y densidad poblacional en el rendimiento del cultivo de pepino h. Diamante* [Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López]. <https://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/462/1/TA59.pdf>
- García -Lozano, J., & Moreno-Fonseca, L. P. (2016). Respuestas fisiológicas de *Theobroma*

- cacao L. en etapa de vivero a la disponibilidad de agua en el suelo. *Acta Agronómica*, 65(1), 44-50.
- Gómez, J. J. C., Muñoz, R. B., & Rodríguez, M. de L. H. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*, 19(1), 39-50.
- 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
- Hassan, M., Ahmed, H., Kamel, S., Abd El-Hamed, W., & Yousef, H. (2021). Biological control of damping-off and root rot disease caused by *Rhizoctonia solani* on cucumber plants. *Fayoum Journal of Agricultural Research and Development*, 35(3), 525-541.
- 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.
- InfoAgro. (2022). *El cultivo del pepino (Parte I)*. https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_pepino__parte_i_.asp
- Jara, F. (2018). *Efecto del abastecimiento hídrico en ambiente protegido sobre el rendimiento y variable morfo-fisiológicas de chile (Capsicum annuum) y pepino (Cucumis sativus L.) en Heredia, Costa Rica* [Tesis de Grado, Universidad Nacional (Costa Rica)]. <http://hdl.handle.net/11056/14579>
- Juárez, P., Bugarín Montoya, R., Castro, R., Sánchez-Monteón, A., & Cruz-Crespo, E. (2011). Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente*, 3(8).

<http://dspace.uan.mx:8080/bitstream/123456789/567/1/Estructuras%20utilizadas%20en%20la%20agricultura%20protegida.pdf>

- Lozano, J. (2011). *Propuesta para optimizar la eficiencia del stock bovino de carne, mediante el incremento de las tasas de destete y de extracción* [Tesis Maestria]. Universidad Católica de Córdoba.
- Luna, M. A. (2013). *Evaluación del período de germinación, desarrollo y rendimiento en el cultivo de pepino (Cucumis sativus), con diferentes tipos de sustratos en época seca en la zona de Quevedo*. [Tesis de Grado]. Universidad Técnica Estatal De Quevedo.
- Lynch, C. A. (2006). *Evaluación del funcionamiento del sistema automatizado de riego por goteo en macrotúneles en zona III, Zamorano, Honduras* [Tesis, Escuela Agrícola Panamericano «Zamorano»].
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/10aec46d-e9c0-4e6e-9d38-33dc746d9006/content>
- Mata, N. J. M., Marín, J. A. G., & Palmares, Y. (2018). *Rendimiento de pepino (Cucumis sativus L.) en función del tipo de bandeja y la edad de transplante de las plántulas*. 79(2), 377-385.
- 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.
- Menezes, N. L. de. (1994). Factores que afetam a expressão sexual em plantas de pepino. *Ciência Rural*, 24, 217-221.
- Nahed-Toral, J., López-Tirado, Q., Alemán-Santillán, T., Aluja-Schunemann, A., & Parra-Vásquez, M. (2001). Los ovinos en la agricultura integral de los tzotziles. *Boletín de ILEIA*, 1(4), 23-25.
- Ortega-Torres, A. E., Flores Tejeida, L. B., Guevara-González, R. G., Rico-García, E., & Soto-Zarazúa, G. M. (2020). Hidrogel acrilato de potasio como sustrato en cultivo de pepino y jitomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1447-1455.
- 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.
- Poot-Salazar, A., Hernández Flores, A., & Ardisson, P. L. (2015). Indicadores de sostenibilidad para la evaluación de las pesquerías de pepino de mar en la península de Yucatán, México. *Ciencia pesquera*, 23(2), 11-24.
- Portillo, M. (2006). *Manual de agricultura protegida los 5 pilares* (No. Académico; p. 10). Escuela Agrícola Panamericana «Zamorano».

- Pratt, L., Ortega, J. M., Nieto, E., & Braly-Cartillier, I. (2019). Agricultura protegida en México. *Elaboración de la metodología para el primer bono verde agrícola certificado*, 1-57.
- Regaber, M. (2024, abril 9). Riego por goteo: La solución para una agricultura sostenible · Regaber. *Regaber*. <https://regaber.com/blog/riego-por-goteo-la-solucion-para-una-agricultura-sostenible/>
- Rodríguez-Lemus, C., Valencia-Pérez, L. R., & Peña-Aguilar, J. M. (2018). Aplicación de las TI's a la Cadena de Valor Agrícola para Productores de Agricultura Protegida. *Revista Tecnología en marcha*, 31(1), 178-189.
- Saltos, J. M. (2009). *Evaluación del efecto de dos láminas de riego y dos sustratos en la producción de pepino bajo condiciones de macro túnel en El Zamorano, Honduras* [Tesis de Grado, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/27670c48-a92a-49fb-b997-106c2ebad672/content>
- 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 fitotecnica mexicana*, 37(3), 261-269.
- Sánchez, E. I. G., Ávila, J. A., & Muñoz, R. B. (2011). La agricultura protegida en Tlaxcala, Méjico: La adopción de innovaciones y el nivel de equipamiento como factores para su categorización. *Teuken Bidikay-Revista Latinoamericana de Investigación en Organizaciones, Ambiente y Sociedad*, 2(2), 194-212.
- Solís-Mera, J. A. (2021). Respuesta de tres cultivares de *Rubus* spp. En sus etapas de crecimiento vegetativo y reproductivo bajo macrotúneles. *Acta Agronómica*, 70(4), 394-406.
- 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>
- Torres, M. M., Villalón, E. M., Martínez, D. A. O., Zaldívar, N. C., Zulueta, K. C., Mejías, D. R., & Rodríguez, D. M. (2017). Influencia de la humedad relativa y la temperatura en la densidad poblacional de *Rumina decollata* (L.)(Gastropoda: Subulinidae) en el Organopónico Vivero Alamar. *Fitosanidad*, 21(2), 61-65.
- Vargas-Canales, J. M., Palacios Rangel, M. I., Camacho Vera, J. H., Aguilar Ávila, J., &

- Ocampo Ledesma, J. G. (2015). Factores de innovación en agricultura protegida en la región de Tulancingo, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(4), 827-840.
- 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.
- Zhang, C., Pratap, A. S., Natarajan, S., Pugalendhi, L., Kikuchi, S., Sassa, H., Senthil, N., & Koba, T. (2012). Evaluation of morphological and molecular diversity among South Asian germplasms of *Cucumis sativus* and *Cucumis melo*. *International Scholarly Research Notices*, 2012(1), 134134.
- Zinkernagel, J., Maestre-Valero, J. F., Seresti, S. Y., & Intrigliolo, D. S. (2020). New technologies and practical approaches to improve irrigation management of open field vegetable crops. *Agricultural Water Management*, 242, 106404.

ANEXOS

Anexo 1. Prueba *t* de Student para muestras independientes del número promedio de raíces en plántulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) variedades Marketmore y Jaguar bajo macrotúnel con riego por goteo

Prueba *t* para muestras independientes

Tratamiento 1: T1 (Marketmore)

Tratamiento 2: T2 (Jaguar)

Media 1 = 13,50

Media 2 = 13,00

Diferencia (1-2) = 0,50

Error estándar de la diferencia = 0,96

$t = 0,52$

$gl = 8$

$p\text{-valor (bilateral)} = 0,6202$

Anexo 2. Preparación del sustrato con tierra de cacao, cal, cascarilla de arroz y biocompost



Anexo 3. Siembra de semillas de pepino en bandejas germinadoras



Anexo 4. Germinación de plántulas de pepino variedad Jaguar bajo macrotúnel con malla sarán.



Anexo 5. Desarrollo de plántulas de pepino variedad Marketmore a los 14 días de siembra



Anexo 6. Trasplante y evaluación de plántulas en fundas bajo macrotúnel de malla sarán





Crecimiento_de_plántulas_de_hortalizas_en_condiciones_de_macrotunel REVISADA



Nombre del documento: Crecimiento_de_plántulas_de_hortalizas_en_condiciones_de_macrotunel REVISADA.docx
ID del documento: 12ce31a1a3d348440f1dc45261324bfc9874cbe7
Tamaño del documento original: 9,7 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: 13.004
Número de caracteres: 88.733

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Tesis completa CORREGIDA.docx Tesis completa CORREGIDA #498224 Viene de de mi biblioteca 29 fuentes similares	14%		Palabras idénticas: 14% (1689 palabras)
2	Tesis Final_Cultivo de pepino (Cucumis sativus) en condiciones de ma... #126779b Viene de de mi biblioteca 28 fuentes similares	12%		Palabras idénticas: 12% (1455 palabras)
3	07012026 Cultivo de hortalizas en condiciones de macrotunel de pl... #f9b92c Viene de de mi biblioteca 28 fuentes similares	10%		Palabras idénticas: 10% (1170 palabras)
4	PROYECTO DE INVESTIGACION ALEJANDRIA VERA ZAMBRANO.docx P... #5c586b Viene de de mi biblioteca 28 fuentes similares	9%		Palabras idénticas: 9% (1217 palabras)
5	Salazar Ricardo - Compilato.docx Salazar Ricardo - Compilato #953788 Viene de de mi grupo 16 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (460 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.academia.edu (PDF) Producción de pepino (Cucumis sativus L.) bajo inver... https://www.academia.edu/56193155/Produccion_de_pepino_Cucumis_sativus_L_bajo_invern...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
2	repositorio.espm.edu.ec Influencia del tutorado y densidad poblacional en el ... http://repositorio.espm.edu.ec/bitstream/42000/46217/1/TA59.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
3	dspace.utb.edu.ec La calidad de agua para riego y su posible efecto en el rendi... http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/9290/3/E-UTB-FACIAG-ING-AGROP-000131.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
4	bdigital.zamorano.edu https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/27670c48-a92a-49fb-b997-106c2ebad672/download	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (25 palabras)
5	repositorio.utc.edu.ec http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/11467/1/UTC-PIM-000732.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (18 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

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

- <https://redibai-myd.org/portal/wp-content/uploads/2021/12/redreducido.pdf>
- <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/Bdc4879d-ab78-4986-8b5e-941efa35fd06/content>
- <https://hdl.handle.net/11036/7481>
- <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1566>
- <https://repositorio.espm.edu.ec/bitstream/42000/46217/1/TA59.pdf>

