



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

TESIS DE GRADO

Efecto de sustrato compostado de corteza de pino (*Pinus oocarpa* L.) frente a otros sustratos en el desarrollo de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en sistemas hidropónico

Hernández, R; Hernández, O.

Tutor

Mtro. Jorge Manuel Pinell Tórrez

CENTRO UNIVERSITARIO REGIONAL DE ESTELÍ

¡Universidad del Pueblo y para el Pueblo!



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

Centro Universitario Regional de Estelí CUR-Estelí

Recinto Universitario “Leonel Rugama Rugama”

Departamento Ciencias Tecnológicas y Salud

Efecto de sustrato compostado de corteza de pino (*Pinus oocarpa* L.)
frente a otros sustratos en el desarrollo de plántulas de tomate
(*Solanum lycopersicum* L.) en sistemas hidropónico

Trabajo de investigación para optar al grado de
Ingenieros Agrónomos

Autores

Reina Dariana Hernández Orozco
Oscar Javier Hernández Sobalvarro

Tutor

Mtro. Jorge Manuel Pinell Tórrez

Diciembre, 2025



Dedicatoria

A Dios, mi Padre Todopoderoso, quien con su infinita misericordia me dio la vida, la salud y la sabiduría. Gracias por ser mi luz y mi fuerza en los momentos más difíciles. A ti, mi Dios, por permanecer siempre a mi lado y recordarme que sin tu guía nada de esto habría sido posible. Gracias por cada palabra que me sirvió de aliento y por permitirme tomar tu mano cuando más lo necesité. “Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo dondequiera que vayas.” Josué 1:9

A mis padres, Francisco Elías Hernández y Thelma Lydia Orozco, quienes han sido mi apoyo incondicional en todo momento. Gracias por su amor, por su esfuerzo, por sus oraciones y por enseñarme el valor de caminar siempre por el camino del bien. Este logro también es de ustedes porque sin su apoyo no habría sido posible cumplir este sueño. Los amo eterna e infinitamente. **Reina Dariana Hernández Orozco**

A Dios, fuente infinita de amor y sabiduría, por caminar siempre a mi lado, guiándome por el sendero del bien y dándome la fuerza para seguir adelante incluso en los días más oscuros. Gracias por ser mi luz cuando todo parecía oscuro y mi sostén en los momentos de mayor prueba. "Para el que cree, todo es posible" Marcos 9:23

A mis padres, Oscar Javier Hernández Sobalvarro y Margarita Sobalvarro Rizo, por su amor incondicional, sus sacrificios silenciosos y su fe inquebrantable en mí. Ustedes fueron mi primer apoyo y mi mayor motivación. Este logro no es solo mío: es fruto de su esfuerzo y su entrega. Todo lo que soy, lo debo en gran parte a ustedes.

Y a todos mis amigos que, de una u otra forma, aportaron su granito de arena para que este sueño se hiciera realidad. Su compañía, sus ánimos y su solidaridad marcaron la diferencia.

Este logro es de todos. Gracias por caminar conmigo. **Oscar Javier Hernández Sobalvarro**

Agradecimiento

A Dios, por ser el centro de nuestras vidas, por guiarnos en cada paso y nunca dejarnos solos en este recorrido lleno de desafíos, aprendizajes y sueños. Gracias Padre amado por sostenernos, fortalecernos y permitirnos llegar hasta aquí. Todo esto ha sido posible únicamente por Tu gracia.

A nuestros padres, por ser nuestro mayor ejemplo de amor, esfuerzo y dedicación. Gracias por apoyarnos incondicionalmente, por guiarnos por el buen camino y por creer en nosotros aun cuando los sueños parecían inalcanzables. Este logro también es suyo, porque ustedes nos dieron la oportunidad de alcanzar metas que en su momento no pudieron cumplir. Gracias por su sacrificio y por su amor infinito.

A nuestro querido amigo y colega Helder Mauricio Martínez Bustillo, por su invaluable apoyo. Gracias por tu disposición y por brindarnos una parte de ti para hacer posible este proyecto. Sin tu ayuda, especialmente con la corteza de pino, este camino habría sido mucho más difícil. Te agradecemos de corazón.

A nuestros maestros, quienes han acompañado cada etapa de nuestra formación, brindándonos sus conocimientos, su dedicación y su confianza. De manera especial, a nuestro tutor de tesis, MSc. Jorge Pinell y asesor Dr. Oscar Rafael Lanuza, por su guía, su paciencia y su acompañamiento constante. Gracias por orientarnos, que Dios les bendiga grandemente.

A nuestra alma mater, la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN-Managua, CUR Estelí, por abrirnos las puertas y brindarnos el espacio donde crecimos profesional y personalmente.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

CENTRO UNIVERSITARIO REGIONAL, ESTELÍ
“2025: Eficiencia y Calidad para seguir en victorias”
Departamento de Ciencias Tecnológica y salud
CARTA AVAL DEL TUTOR

Estelí, 22 de noviembre de 2025

Por medio de la presente, en calidad de tutor del trabajo de modalidad de graduación titulado: “Efecto de sustrato compostado de corteza de pino (*Pinus oocarpa* L.) frente a otros sustratos en el desarrollo de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en sistemas hidropónico”, elaborado por los estudiantes:

Reina Dariana Hernández Orozco,

21-50079-7

Oscar Javier Hernández Sobalvarro,

20-50026-9

Estudiantes de la carrera de **Ingeniería Agronómica**, hago constar que he brindado acompañamiento académico y metodológico durante el desarrollo de dicho trabajo, cumpliendo con lo establecido en el cronograma y en la normativa institucional vigente. Asimismo, avalo que el trabajo cumple con los requisitos formales, científicos y éticos exigidos por la Universidad, en cumplimiento de la modalidad de graduación correspondiente.

Atentamente,

Mtro. Jorge Manuel Pinell Tórrez

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4941-6256>

UNAN-Managua/CUR-Estelí

cc/

¡Universidad del Pueblo y para el Pueblo!

Barrio 14 de abril, contiguo a la subestación de ENATREL, Tel 27137734, Ext 7424
dceh.curesteli@unan.edu.ni

Resumen

El presente estudio evaluó el efecto del sustrato a base de corteza de pino compostado frente a otros sustratos sobre el desarrollo morfológico de las plantas de *S. lycopersicum* en sistemas hidropónicos, se compararon tres tratamientos: corteza de pino, corteza de pino + carbón y turba de coco. Esta investigación se desarrolló bajo un diseño experimental completamente aleatorizado (BCA), se midieron variables morfológicas como altura, diámetro del tallo, número de hojas y distribución de biomasa. Los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas sobre las variables evaluadas. Por ende, se considera que tanto la corteza de pino, corteza de pino + carbón y la turba de coco son adecuadas para el establecimiento inicial de plántulas de *S. lycopersicum* en sistemas hidropónicos.

Palabras claves: sustratos; plántulas de tomate; corteza de pino; hidroponía

Abstract

This study evaluated the effect of composted pine bark substrate compared to other substrates on the morphological development of *S. lycopersicum* plants in hydroponic systems. Three treatments were compared: pine bark, pine bark + charcoal, and coconut peat. This research was conducted under a completely randomized experimental design (CRD), and morphological variables such as height, stem diameter, number of leaves, and biomass distribution were measured. The results showed that there were no significant differences in the variables evaluated. Therefore, pine bark, pine bark + charcoal, and coconut peat are considered suitable for the initial establishment of *S. lycopersicum* seedlings in hydroponic systems.

Keywords: substrates; tomato seedlings; pine bark; hydroponics

Índice

1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Planteamiento del problema	6
3.1. Preguntas de investigación.....	7
4. Justificación.....	8
5. Objetivos de investigación	9
5.1. Objetivo General	9
5.2. Objetivos específicos.....	9
6. Limitaciones del estudio.....	10
7. Hipótesis	11
8. Operacionalización de variables	1
9. Marco Teórico	1
9.1. Hidroponía	1
9.1.1. Definición y principios de la hidroponía.....	1
9.1.2. Sistemas de cultivos hidropónicos	1
9.1.3. Solución nutritiva de los sistemas hidropónicos	3
9.1.4. Ventajas del cultivo hidropónico	3
9.2. Sustrato como componente base en la hidroponía	4
9.2.1. ¿Qué es un sustrato?	4
9.2.2. Características físicas, químicas y biológicas de un sustrato.....	4
9.2.3. Clasificación de los sustratos	5
9.2.4. Sustratos más comunes utilizados en la hidroponía	6
9.2.5. Origen, propiedades físicas y químicas de la corteza de pino compostada	9
9.3. Carbón vegetal como complemento en la mezcla de sustratos.....	10
9.3.1. ¿Qué aporta el carbón vegetal en la agricultura?	10
9.3.2. ¿Tiene el carbón capacidad de retención de nutrientes?	10
9.3.3. Capacidad de sinergia del carbón al mezclarse con sustratos.....	10
9.4. Importancia del cultivo de Tomate	11
9.4.1. Origen del tomate	11

9.4.2.	Importancia del cultivo de tomate en el mundo	11
9.4.3.	Importancia económica del cultivo de tomate en Nicaragua.....	11
9.4.4.	Taxonomía del tomate	12
9.4.5.	Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de tomate	13
9.4.6.	Etapas fenológicas del cultivo de tomate	13
9.4.7.	Plagas y enfermedades del cultivo de tomate.....	14
10.	Diseño metodológico	16
10.1.	Tipo de investigación	16
10.2.	Población y selección de la muestra	16
10.3.	Técnicas, instrumentos y procedimientos para la recolección de datos	17
10.4.	Confiableidad y validez de los instrumentos	20
10.5.	Técnicas, instrumentos y procedimientos para el procesamiento y análisis de datos	20
11.	Análisis y discusión de resultados	21
12.	Conclusiones.....	35
13.	Recomendaciones.....	36
14.	Referencias	37
15.	Anexos.....	¡Error! Marcador no definido.

1. Introducción

En la actualidad, el uso de sustratos ha aumentado considerablemente, especialmente porque el cultivo tradicional en suelo está siendo reemplazado por sistemas hidropónicos. Esta situación se debe a distintos factores que dificultan la continuidad de los cultivos intensivos, como los agentes fitopatógenos, el aumento de la salinidad y degradación del suelo. Por lo tanto, el uso de sustratos se ha extendido en varios sectores agrícolas, siendo más común en el sector hortícola (L. Barbaro et al., 2019).

La hidroponía o cultivos sin suelo, es una forma sencilla, limpia y de bajo costo para producir vegetales de rápido crecimiento, generalmente ricos en nutrientes y que forman parte de la alimentación diaria de la población. Este tipo de sistemas se ha usado en muchos países de América Latina y recientemente en Nicaragua, especialmente en las zonas urbanas donde no se cuenta con mucho espacio (Flores-Pacheco et al., 2016). En este tipo de sistemas, el uso de sustratos como soporte para las plantas, ha reemplazado al suelo, por las características que estos poseen, ya que permiten un mejor control sobre el suministro de agua, la nutrición y el desarrollo de las raíces (R. d Rodríguez et al., 2016).

La corteza de pino compostada, utilizada como sustrato se caracteriza por ser un material con elevado porcentaje de poros. La capacidad de aireación del sustrato de corteza de pino es relativamente elevada (28-39%), indicando que, de la porosidad total, un elevado porcentaje de los poros son macroporos. Por el contrario, la cantidad de agua fácilmente disponible para la planta no es muy elevada lo que indica que a este material le convienen riegos frecuentes y de menor dosis (Soto Avendaño, 2014). Con el fin de mejorar las propiedades, se plantea mezclarla con materiales complementarios como el carbón vegetal, el cual ayudará a retener los nutrientes y el agua, sin modificar las características físicas del sustrato.

El tomate (*Solanum lycopersicum L.*) es la segunda hortaliza de mayor importancia económica a nivel mundial (Castillo Martínez et al., 2019), y debido a que su consumo ha ido aumentando gradualmente; es necesario buscar las mejores técnicas para su producción (R. d Rodríguez et al., 2016). Una de estas técnicas, es la siembra a través de plántulas ya que ofrece mayor probabilidad de éxito en el establecimiento del cultivo, tanto en campo abierto como en sistemas controlados, en comparación con la siembra directa de semillas.

El éxito comercial del tomate depende en gran parte del cuidado que se preste a los semilleros, lo cual permite la obtención de plántulas uniformes, en buen estado de desarrollo y sin problemas fitosanitarios. Estos factores contribuyen a una mejor resistencia al estrés del trasplante y un mayor porcentaje de resistencia en campo (Costales, 2007).

En este sentido, es importante estudiar las condiciones que favorecen el desarrollo óptimo de las plántulas. Por ende, el propósito de esta investigación es evaluar un sustrato a base de corteza de pino compostada frente a otros sustratos, para el desarrollo morfológico de plántulas de tomate en un sistema hidropónico, con el fin de aprovechar los beneficios que ofrece este sustrato y poder sacar una mayor ventaja en la producción de plántulas de tomate.

2. Antecedentes

Los estudios previos son fundamentales porque permiten conocer los avances y los hallazgos que otros investigadores han logrado, sirviendo esto como guía, evitando repetir errores y aportando información útil para mejorar los procesos. Para esta investigación, basada en la evaluación de un sustrato para la producción de plántulas en hidroponía, permite determinar que técnicas son más eficientes para optimizar la producción.

Silva Valqui et al., (2021) evaluaron el efecto de distintos sustratos: cascarilla de arroz, cascarilla de arroz carbonizada, aserrín y sus mezclas. El experimento se realizó con un diseño completo al azar, con cuatro tratamientos y ocho repeticiones. Los resultados demostraron que la cascarilla de arroz carbonizada con arena promovió mayor altura de planta, diámetro de tallo, número de frutos de primera calidad y rendimiento (3.03 kg/planta). Los otros tratamientos mostraron menor influencia sobre estas variables. En conclusión, la cascarilla carbonizada constituye un sustrato más favorable para el crecimiento y desarrollo del tomate, mientras que el aserrín no resulta adecuado.

Esta investigación se relaciona con el presente estudio, ya que ambos trabajos buscan identificar sustratos alternativos que mejoren el desarrollo del tomate en sistemas hidropónicos. Mientras dicho estudio resalta la efectividad de la cascarilla de arroz carbonizada, la presente investigación evaluará la corteza de pino compostada como opción viable para la producción de plántulas de tomate.

Caballero-Salinas et al., (2020) evaluaron el efecto de distintos sustratos alternativos en la emergencia y crecimiento de *Physalis ixocarpa* Brot. bajo condiciones de malla sombra. Se compararon cuatro sustratos: cosmopeat (testigo), humus de lombriz, aserrín de *Pinus oocarpa* y composta, utilizando un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos con cosmopeat, lombricomposta y aserrín mostraron los mayores porcentajes de emergencia. El humus de lombriz destacó al superar la media general en ocho de nueve variables evaluadas, siendo estadísticamente similar al cosmopeat en emergencia, número de hojas y peso de la plúmula. Esto sugiere que el humus de lombriz es un sustrato alternativo viable para la producción de plántulas de tomate.

Este antecedente se relaciona con la presente investigación al proporcionar información sobre el uso de sustratos alternativos en la germinación y crecimiento de plántulas hortícolas.

Ortega Martínez et al., (2016), durante el ciclo agrícola 2013 evaluaron la eficiencia de tezontle, fibra de coco, mezcla aserrín-composta, suelo y suelo con acolchado plástico mediante fertirrigación en el cultivo de tomate en invernadero. El tezontle alcanzó el mayor rendimiento con 25.2 kg/m², mientras que el suelo con acolchado plástico obtuvo 23.3 kg/m², destacando por su rentabilidad y eficiencia en el uso de agua (63.6 L por kg de tomate). En contraste, la fibra de coco y el tezontle tuvieron mayor consumo de agua y solución nutritiva. El estudio concluyó que, aunque el tezontle ofrece alto rendimiento, el suelo con acolchado plástico representa una alternativa eficiente y económica.

Este antecedente es significativo porque demuestra que la elección del sustrato influye en el rendimiento, la eficiencia hídrica y la rentabilidad del cultivo de tomate. De esta manera, en esta investigación se evaluará la corteza de pino compostada como sustrato para hidroponía, con el fin de determinar si puede constituir una alternativa viable y eficiente para la producción de plántulas de tomate.

Madziwa, (2014), evaluó el efecto de la corteza de pino enmendada con estiércol de cabra en la emergencia de plántulas de tomate, considerando diámetro y longitud del tallo. Utilizó estiércol de cabra para complementar los nutrientes cuando se utiliza corteza de pino como sustrato de cultivo. Los resultados mostraron que las diferentes combinaciones de medios y fertilizantes tuvieron un efecto significativo ($P < 0,05$) sobre la emergencia de las plántulas, el diámetro y la longitud del tallo. Según los resultados, la corteza de pino enmendada con estiércol de cabra aumentó significativamente la emergencia de las plántulas, el diámetro y la longitud del tallo.

Este estudio evidencia que la corteza de pino puede complementarse para mejorar la calidad de las plántulas; en nuestro caso se evaluará el uso de carbón vegetal como enmienda para mejorar la retención de nutrientes.

Flórez et al., (2010), evaluó la corteza de *Pinus caribaea* en 20 y 30%, como sustrato para producción de clavel (*Dianthus cariophyllus*) en hidroponía, analizando la biomasa

fresca, el número de brotes, pérdida de plantas y calidad. Los sustratos utilizados fueron eficientes, pero la corteza de pino al 20 y 30% fue la más adecuada, mostrando mejoras en la producción, calidad y ahorro de agua. indican que la productividad de un cultivo está relacionada con la calidad de la planta, y para obtener una plántula de excelentes condiciones no sólo es necesario contar con buen material genético, sino que también es indispensable la incorporación de la tecnología adecuada en el proceso de producción.

Este estudio aporta evidencia sobre la eficacia de la corteza de pino como sustrato en sistemas hidropónicos, propuesta que se considerará para la producción de plántulas de tomate.

3. Planteamiento del problema

En los últimos años el mal uso de los suelos en la agricultura se ha intensificado debido al uso inadecuado de los productos químicos, la variación climática y la falta de información y acompañamiento técnico. Esta situación ha llevado a buscar alternativas de producción sostenibles, como la hidroponía, que permite el establecimiento de un cultivo sin suelo. Sin embargo, uno de los principales retos de esta técnica es la selección de sustratos adecuados que garanticen el desarrollo óptimo de las plantas.

El cultivo en hidroponía requiere de ciertas condiciones y medios para llevarse a cabo y lograr un aumento en la producción. Uno de los principales factores que determinan el éxito o fracaso en sistemas hidropónicos es el sustrato o medio de crecimiento. Las características físicas y químicas de los sustratos son importantes para su uso efectivo y el potencial productivo de las plantas, pues constituyen el medio de desarrollo de las raíces, las cuales tienen gran influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas (López-Pérez et al., 2005).

El tomate (*S. lycopersicum*), siendo una hortaliza de gran importancia, requiere condiciones específicas para su desarrollo, durante su etapa de plántula, cualquier daño al follaje o a las raicillas puede ser crítico para su supervivencia, por lo que factores como el pH, la temperatura y la humedad son esenciales para esta etapa (Mairena Alemán & Maradiaga Sánchez, 2009). Por ello, es importante evaluar sustratos que ofrezcan buen soporte físico y nutricional a la planta.

La corteza de pino compostada presenta propiedades que podrían ser favorables en sistemas hidropónicos, como buena aireación y estructura física, aunque su retención de agua es limitada. Evaluar esta opción, sola o combinada con carbón vegetal, frente a sustratos convencionales como la fibra de coco, permitirá identificar alternativas eficientes y económicas para la producción de plántulas de tomate en sistemas hidropónicos.

3.1. Preguntas de investigación

Pregunta general

¿Cómo influye el sustrato de corteza de pino compostado en el desarrollo de plántulas de tomate (*Solanum Lycopersicum*) en un sistema hidropónico?

Preguntas específicas

1. ¿Cuál es el efecto del sustrato de corteza de pino compostada en el porcentaje y velocidad de germinación de las semillas de *S. Lycopersicum* ante otros sustratos?
2. ¿Cuál es la relación entre las propiedades físicas de los sustratos y el desarrollo inicial de las plántulas en hidroponía?
3. ¿Cómo influyen los diferentes sustratos sobre a variables de crecimiento como altura, diámetro del tallo, número de hojas y su biomasa fresca y seca de las Plántulas?

4. Justificación

Debido a los crecientes cambios a los que se enfrenta la agricultura, no solo por las apariciones de nuevas tecnologías, si no, por la aparición y adaptación de nuevas enfermedades y plagas y la variación constante del clima. El establecimiento de un sistema hidropónico, para el desarrollo y producción de plántulas de tomate, no solo ofrece rentabilidad, si no, garantiza la producción en poco espacio de terreno y el uso eficiente de agua, a través de un sistema de riego, permitiendo así a los pequeños agricultores un óptimo aprovechamiento de los recursos.

Actualmente, existen pocos estudios sobre la corteza de pino compostada utilizada como sustrato en sistemas hidropónicos, especialmente en hortalizas como el tomate (*S. lycopersicum*). Esta investigación busca demostrar que la calidad de las plántulas obtenidas dependerá de la selección del sustrato a utilizar, ya que el desarrollo y funcionamiento de las raíces están determinadas por las condiciones de aireación y el contenido de agua disponible (Torres et al., 2017).

La metodología utilizada en esta investigación permitirá evaluar el efecto del sustrato de corteza de pino compostada con un sustrato convencional en el desarrollo de plántulas de tomate, bajo condiciones iguales, lo que permitirá generar nuevos aportes al conocimiento sobre sustratos alternativos, con potencial de aplicación en otros cultivos hortícolas y servirán como base para futuras investigaciones relacionadas con cultivos hidropónicos, integrando los enfoques cuantitativos y cualitativos.

5. Objetivos de investigación

5.1. Objetivo General

Evaluar el efecto del sustrato a base de corteza de pino compostada frente a otros sustratos, sobre el desarrollo morfológico de plántulas de *S. lycopersicum* en sistema hidropónico.

5.2. Objetivos específicos

Comparar el porcentaje y el tiempo de germinación de semillas de *S. lycopersicum* establecidas en sustrato a base de corteza de pino compostada frente a otros sustratos.

Analizar la relación entre las propiedades físicas y químicas de los sustratos y el desarrollo inicial de las plántulas en hidroponía.

Determinar el efecto de los diferentes sustratos sobre las variables de crecimiento y distribución de biomasa en las plántulas.

6. Limitaciones del estudio

Las limitaciones de este estudio están relacionadas con algunos factores externos e internos que podrían influir en el desarrollo de esta investigación, los principales son:

La disponibilidad de la materia prima (corteza): la disponibilidad de la corteza de pino puede variar según la zona donde nos encontremos, puede ser escasa lo que puede resultar una dificultad para su utilización como sustrato.

Duración de la investigación: la investigación se centra en la producción de plántulas, porque no sería posible evaluar la producción del cultivo utilizando este tipo de sustrato y en condiciones hidropónicas.

Condiciones del entorno experimental: al realizarse la investigación en un semillero experimental, los resultados podrían variar tratándose de una producción comercial debido a las cantidades utilizadas en cada caso.

7. Hipótesis

Hi:

El sustrato de corteza de pino compostada, tendrá un efecto superior en la germinación y desarrollo de las plántulas de tomate, en comparación con otros sustratos.

8. Operacionalización de variables

Objetivos específicos	Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Indicadores	Instrumento/técnica	Fuente de datos
Comparar el porcentaje y la velocidad de germinación de semillas de <i>S. lycopersicum</i> establecidas en sustrato a base de corteza de pino compostada frente a otros sustratos.	Porcentaje de germinación	El porcentaje de germinación consiste en contabilizar cada una de las plántulas emergidas hasta el último día de la evaluación. (J. López et al., 2016).	Se contabiliza diariamente el número de plántulas emergidas hasta el último día de evaluación se aplica la formula: (total de plántulas emergidas entre total de semillas sembradas y se multiplica por) cien(J. López et al., 2016).	Porcentaje de semillas germinadas	Guía de observación, conteo, registro diario	Semillas
	Tiempo de germinación	La velocidad de germinación expresa el número de semillas germinadas por día, indica que la velocidad de germinación se obtiene al mismo tiempo que se determinan los porcentajes de germinación.(Calzada López et al., 2014)	Se mide simultáneamente con el conteo de germinación diaria.	Días a la emergencia, tasa de germinación	Guía de observación, calendario de siembra, registro diario	Registro diario de germinación del semillero
Determinar el efecto de los diferentes	Altura de la planta	Se puede definir la altura de la plántula como la longitud total medida desde la base de	Se mide con una regla milimétrica desde la base	Altura promedio de la planta (cm)	Regla milimétrica/cinta, observación directa	Mediciones de la planta

sustratos sobre las variables de crecimiento y distribución de biomasa en las plántulas.		la plántula hasta el extremo superior (J. C. H. López, 2012).	del tallo hasta el ápice de la altura.			
	Diámetro del tallo	El diámetro del tallo es un parámetro de gran importancia ya que además de contener los conductos que canalizan el transporte de agua y nutrientes a los diferentes órganos de la planta, también influirá en la resistencia al doblamiento de la planta cuando son afectados por factores externos como el viento o la lluvia (Lagunes-Fortiz et al., 2021).	Se mide con un pie de rey a un cm de la base del tallo de cada plántula.	Diámetro promedio del tallo (mm)	Pie de rey	Mediciones de la planta
	Número de hojas verdaderas	Las hojas verdaderas son las primeras hojas que se asemejan a las de la planta adulta y que emergen después de los cotiledones (hojas embrionarias) y su función principal es realizar el proceso de fotosíntesis.	Es el conteo directo de las hojas verdaderas por plántula al momento de cada medición.	Promedio de las hojas por plántula	Guía de observación, conteo directo	Conteo de hojas de la planta
	Biomasa fresca	Definen la biomasa como el peso del material vegetal vivo que figura por encima y por debajo de la superficie del suelo, hasta la superficie en	Se pesa cada plántula recién cortada al final del experimento, utilizando balanza digital	Peso fresco (g)	Pesa digital	Peso fresco de la planta

		un punto dado del tiempo(J. C. H. López, 2012).				
	Biomasa seca	Se define como el rendimiento biológico de la planta y es la biomasa total, generalmente de la parte aérea producido por la planta (J. C. H. López, 2012).	Se seca la muestra a 70°C por 48hrs y luego se pesa.	Peso seco (g)	Horno y pesa digital	Peso seco de la planta
Analizar la relación entre las propiedades físicas de los sustratos y el desarrollo inicial de las plántulas en hidroponía.	pH	El pH juega un rol importante para el manejo de los fertilizantes y las exigencias de las plantas. El rango recomendado para la mayoría de las plantas cultivadas en maceta es entre 5,3 y 6,5. En este rango los nutrientes mantienen su nivel máximo de disponibilidad, de lo contrario, los nutrientes podrán no estar disponibles para la planta o volverse tóxicos (L. A. Barbaro et al., 2023).	Se mide en suspensión 1:2 (sustrato:agua) con pH-metro digital.	Valor de pH	pH-metro digital	Sustrato
	Capacidad de retención de agua	La capacidad de retención de agua es una característica física del sustrato que influye en el crecimiento y desarrollo de la planta, favoreciendo la calidad y el rendimiento de un cultivo. Esta determinado por la parte solida del sustrato,	La retención de agua se determina por el tamaño, la forma, el acomodo y el empaquetamiento de las partículas del sustrato, que generan diferentes tipos de poros. La continuidad de esos	% de agua retenida		Sustrato

		que conforma la estructura física y el espacio poroso, contribuyendo a la percolación, retención y disponibilidad del agua necesaria para las plantas (S. G. Rodríguez et al., 2021).	poros, así como el tamaño de las partículas entre 0.25 y 1.00 mm, aumentan la capacidad de retención de agua, mientras que partículas mayores a 3.36 mm y superficies rugosas disminuyen esta propiedad (S. G. Rodríguez et al., 2021).			
	Densidad aparente	La densidad aparente del suelo (DA) se define como la masa de suelo seco en una determinada unidad de volumen edáfico (sólidos + poros) y su valor se relaciona con la proporción de poros existente en dicho volumen de suelo (Agostini et al., 2014).				Sustrato
	Granulometría	La granulometría se refiere a la distribución de tamaño de partícula de un sustrato. La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él (Soto Pretel, 2024).	Se determina mediante tamizado en seco utilizando tamices de diferentes mallas (2mm, 1mm,0.5mm)	%porcentaje de partículas por fracción	Tamices/malla	Sustrato

	Conductividad eléctrica	La conductividad eléctrica (CE) del suelo es la capacidad de conducir la corriente eléctrica, la cual depende de la cantidad de iones positivos y negativos que se encuentran en la solución del suelo, por eso la CE de la solución de suelo es un indicador del contenido de sales (Bosch Mayol et al., 2012).	El método tradicional para medir la CE de la solución de suelo es en el extracto de pasta de saturación, cuando se requiere estimar la CE una alternativa es medir la CEa (Friedman, 2005), lo cual es posible realizarlo en el campo mediante sensores de medición directa por electrodos (SMD) (Bosch Mayol et al., 2012).	A través de microsiemens por centímetros ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductímetro digital	Sustrato
--	-------------------------	--	--	--	-----------------------	----------

9. Marco Teórico

9.1. Hidroponía

9.1.1. Definición y principios de la hidroponía

La hidroponía se define como la ciencia del cultivo de plantas sin uso de tierra, en un medio inerte (arena gruesa, turba, vermiculita, aserrín, etc.) al que se le agrega una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales requeridos por la planta para su crecimiento normal. Esta técnica de cultivar presenta ventajas significativas; por ejemplo, la eliminación de plagas y enfermedades contenidas en la tierra, facilitando el cuidado de las plantas. El término “hidroponía” proviene del griego hydro (agua), y ponos (labor o trabajo), cuyo significado es “trabajar en el agua” (Barbado, 2005).

En la actualidad, la hidroponía se ha vuelto una realidad para cultivar en invernaderos o Invernáculos adaptándose a diferentes condiciones climáticas. Y aplicándose tanto a cultivos ornamentales como a hortalizas y, entre los cultivos que más destacan en este tipo de sistemas son: el tomate, pepino, col y rábano (Barbado, 2005).

9.1.2. Sistemas de cultivos hidropónicos

Existen varios sistemas de cultivo hidropónico que difieren entre sí en cuanto al soporte de la planta (medio líquido y sustrato), la reutilización de la solución nutritiva (circulante o no circulante) y el suministro de esta (continuo o intermitente). En cuanto a la reutilización de la solución nutritiva, los sistemas hidropónicos se clasifican en abiertos y cerrados. En el primer caso, la solución nutritiva se aplica una sola vez a las plantas y luego se desecha, de forma similar a la fertirrigación. En el sistema cerrado, la solución nutritiva aplicada se recupera y se reutiliza, corrigiendo periódicamente su composición, ya sea añadiendo agua o nutrientes minerales (Neto & Barreto, 2012).

A continuación, se presentan los tipos de sistemas antes descritos:

Tipo de sistema	Descripción
Hidroponía de aireación estática (flotante)	Las plantas se cultivan sin sustrato, con las raíces totalmente sumergidas en la solución nutritiva y con aireación mediante bombeo.

**Técnica de película nutritiva (NFT) o
técnica de flujo laminar de nutrientes**

Para mantenerlas en posición vertical se usan placas de poliestireno perforadas. Este sistema requiere un gran volumen de solución o ajustes frecuentes para evitar cambios en la concentración de nutrientes y el pH.

Las plantas crecen en canales donde circula una fina capa de solución nutritiva de forma intermitente, lo que permite la respiración radicular. Es uno de los sistemas más viables comercialmente, especialmente en hortalizas de hoja. No se utiliza sustrato y se clasifica como un sistema cerrado, ya que la solución se reutiliza constantemente. Puede instalarse en posición vertical y horizontal.

En este sistema, las raíces quedan suspendidas en el aire y reciben nebulizaciones intermitentes de solución nutritiva en cámaras opacas. Aunque permite mantener la humedad cercana al 100%, su uso comercial es limitado por el costo y la complejidad operativa. También existe una variante similar a la aireación estática, pero con drenajes y circulación de la solución, lo que permite la oxigenación natural de las raíces sin bombeo de aire.

Aeroponía

Las plantas se desarrollan en macetas con sustratos inertes como: arena lavada, grava o arcilla, los cuales sirven como soporte. Es un sistema abierto, ya que la solución nutritiva no retorna al tanque y puede

Cultivo con sustratos

aplicarse por goteo, capilaridad, inundación o circulación. Se emplea en diversos recipientes (macetas, bolsas, canaletas, bacales, etc.) y es apto para cultivos con sistemas radiculares mas desarrollados, como tomate, pepino, pimiento o uva. Para ser considerado hidropónico, el sustrato debe de ser inerte, a diferencia de la fertiirrigación en suelo.

(NEto & BarrEto, 2012).

9.1.3. Solución nutritiva de los sistemas hidropónicos

Una solución nutritiva es un medio que le provee a la planta el agua y los nutrientes necesarios para su buen crecimiento y desarrollo. Una solución nutritiva completa debe tener los siguientes nutrientes; (N), (P), (K), (Ca), (Mg) y (S). Los mismos son conocidos como macronutrientes (gr/L). Otros elementos como él (Fe), (Mo), (B), (Zn), (Ni) y (Cu), son los micronutrientes (mg/L). La planta a través de su sistema radicular toma agua, oxígeno y nutrientes de la solución nutritiva. Esta deberá contener todos los elementos esenciales y en la cantidad y proporción adecuada.(Beltrano & Gimenez, 2015).

9.1.4. Ventajas del cultivo hidropónico

El establecimiento de cultivos en sistemas hidropónicos según Barbado, (2005), y Beltrano & Gimenez, (2015), ofrece numerables ventajas y desventajas que se describen a continuación:

Nº	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1	Cultivos libres de parásitos, bacterias, hongos y contaminación.	Alta inversión inicial
2	Se requiere mucho menor cantidad de espacio para producir el mismo rendimiento del suelo	Requiere conocimientos técnicos
3	Independencia de los fenómenos meteorológicos	Son sistemas delicados, requieren de atención constante

4	Permite la producción de cosechas contra estación	Dependen del suministro constante tanto de nutrientes como de agua
5	Menos espacio y capital para una mayor producción	Riesgo de contaminación por medio de los materiales utilizados en el sistema.
6	Ahorro de agua, ya que es posible reutilizarla	
7	Se evita la maquinaria agrícola (tractores, rastras, etcétera)	
8	Mayor precocidad de los cultivos	
9	Balance ideal de aire, agua y nutrientes	
10	Permite una mayor densidad de población	
11	Se puede corregir fácil y rápidamente la deficiencia o el exceso de un nutrimento	
12	Posibilidad de cultivar repetidamente la misma especie de planta	
13	Posibilidad de varias cosechas al año	
14	Proporciona excelentes condiciones para semillero	
15	Se reduce en gran medida la contaminación del medio ambiente y de los riesgos de la erosión	

9.2. Sustrato como componente base en la hidroponía

9.2.1. ¿Qué es un sustrato?

Según Sáez, (1999), el término “sustrato”, se refiere a todo material sólido diferente del suelo que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y que, colocado en contenedor, de forma pura o mezclado, permite el anclaje de las plantas a través de su sistema radicular; el sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición de la planta allí ubicada.

9.2.2. Características físicas, químicas y biológicas de un sustrato

Las características físicas de un sustrato vienen determinadas por la estructura interna de las partículas y su granulometría. Algunas de las más destacadas son:

- Densidad real y aparente
- Distribución granulométrica
- Porosidad y aireación
- Retención de agua
- Permeabilidad
- Distribución de tamaños de poros
- Estabilidad estructural

Y, las propiedades químicas vienen definidas por la composición elemental de los materiales; éstas caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución de este. Entre las características químicas de los sustratos destacan:

- Capacidad de intercambio catiónico
- pH
- Capacidad tampón
- Contenido de nutrimentos
- Relación C/N

(Sáez, 1999)

9.2.3. Clasificación de los sustratos

Los sustratos pueden establecer diferentes clasificaciones

A. Según su origen

Orgánicos: la gran mayoría de los sustratos son de origen natural y se pueden dividir en:

Orgánicos: de procedencia animal o vegetal; por ejemplo, turbas, fibra de coco, corteza de pino, cascarilla de arroz, aserrín, paja, compost, entre otros.

Inorgánicos: generalmente son inertes desde el punto de vista químico y se dividen a su vez en:

Los que se usan sin ningún proceso previo aparte de la homogenización granulométrica: gravas, arenas, puzolana (piedra volcánica), picón (roca volcánica porosa del grupo de las pumitas (piedra pómez), escoria de carbón, etc.

Los que sufren algún tipo de tratamiento previo, generalmente a elevada temperatura, que modifica totalmente la estructura de la materia prima: lana de roca, perlita, vermiculita, arcilla expandida.

Sintéticos: espumas de poliuretano y poliestireno expandido, entre otros.

B. Según el tamaño de las partículas (Granulometría)

Partículas < 3 mm de diámetro: arena, perlita, plásticos o lana de roca.

Partículas > 3 mm de diámetro: grava, basalto, piedra pómez o lavas.

C. Según su actividad química

Inertes: si no reaccionan químicamente con la solución nutritiva, presentan muy baja o nula CIC y su misión es únicamente el anclaje de la planta y mantener una adecuada relación aire/agua, como lana de roca, perlita, arena silíceas, gravas, rocas volcánicas, etc.

Químicamente activos: cuando reaccionan con la solución nutritiva o reteniendo nutrientes. Presentan generalmente elevada CIC, como turbas, fibra de coco, compost o vermiculita (Quintero et al., 2011).

9.2.4. *Sustratos más comunes utilizados en la hidroponía*

Dentro de los elementos fundamentales de la hidroponía, los sustratos juegan un papel esencial. A continuación, se muestran los sustratos más comunes utilizados en la hidroponía o cultivos sin suelo (Castañares, 2000).

Sustrato	Origen	Características	Uso
Perlita	Se forma a partir de roca volcánica expandida a muy	Es un sustrato muy liviano. Aporta poros de mayor tamaño que	Puede utilizarse sola o en mezclas en proporción de 40 a 50%

	alta temperatura (1.000 a 1.200 °C)	contribuyen y mejoran aireación. La capacidad de retención de agua es limitada	
Lana de roca	Compuesto por una mezcla de rocas calentadas a 1.600 °C que forman unas fibras muy delgadas, que luego son prensadas	Al igual que la perlita, mejora la aireación fundamentalmente	Su uso más frecuente es como sostén de las plantas en los sistemas hidropónicos, en reemplazo de la goma espuma.
Arena de rio	Son arenas cuya granulometría oscila entre 0,5 y 2,0 mm, obtenidas de los lechos de los ríos. Es necesaria la desinfección antes del uso	Se trata de un material algo heterogéneo que con una buena capacidad de retención de agua. Su principal desventaja es el peso relativamente elevado.	Se utiliza en mezclas a razón de 30 a 40 %
Turba	Formada por restos vegetales en proceso de fosilización, obtenidos de turberas	Mejoran la capacidad de retención de agua. Presentan gran variabilidad y tienden a ser ácidas. Se degradan con facilidad	Se usa en mezclas en proporción de 30 a 40 %

Cáscara de arroz	Proviene de la industria del arroz. Es conveniente la desinfección antes de su uso	Mejora la capacidad de aireación de la mezcla, pero su capacidad de retención de agua es baja	En mezclas en proporción de 10 a 20 %
Corteza de pino	Proviene de la industria maderera	La capacidad de retención de agua es baja pero su la aireación es elevada. Suelen ser materiales heterogéneos y se degradan. Es ligeramente ácida.	Se usa en mezclas en proporciones de 10 a 20 %
Vermiculita	Es un mineral natural del grupo de las micas. Se extrae de minas y luego se procesa con la exposición a alta temperatura (800 °C) para eliminar impurezas	Por el menor tamaño de poros tiene una elevada capacidad de retención de agua.	Se emplea sola o en mezclas en proporción de 40 a 50%
Espuma fenólica	Es un sustrato inorgánico obtenido a partir de resina fenólica	Presenta un buen equilibrio entre capacidad de aireación y retención hídrica	Es empleada para la producción de los plantines, a partir de placas con

9.2.5. Origen, propiedades físicas y químicas de la corteza de pino compostada

La corteza de pino es un desecho de la industria maderera y esta puede ser obtenida a un bajo costo. La utilización de corteza como sustrato, ha sido extensamente estudiada, determinándose que en general da buenos resultados (Jerez, 2007).

El uso de la corteza de pino como sustrato es una alternativa que brinda la opción de reciclar desechos forestales que eventualmente se convertirían en factores de contaminación debido a su lenta descomposición y a su vez mejora la calidad del suelo en el que se cultivan las plantas (Mendoza Hidalgo et al., 2022).

Desde el punto de vista físico, Grez & Gerding, (1995) determinaron, que la corteza de pino compostada, presenta una baja densidad aparente, alta capacidad de retención de agua y buenas propiedades en cuanto al régimen de agua y de aire. Con respecto al pH determinado en KCl, este correspondió a 6,2, concluyendo que, dependiendo del tipo de sustrato y del cultivo, es necesario aplicar medidas correctivas de fertilización, en forma previa o durante su uso.

En cuanto a los elementos K, Ca, Mg, Fe y Mn, se determinó que se encontraban en cantidades adecuadas. Por otro lado, Zn presenta una disponibilidad elevada, Cu y B se encuentran en niveles insuficientes. Aluminio, sin ser un elemento nutritivo, es importante debido a que en altas concentraciones es altamente reactivo a la fijación de fósforo; debido a que en la corteza se encuentra en niveles bajos, no representa un problema para la fertilización fosfatada. Esta investigación concluyó, que los niveles insuficientes de N, la relación desfavorable C/N y los bajos contenidos de P, Cu y B obligan a fertilizar la corteza en forma previa a su uso (Jerez, 2007).

9.3. Carbón vegetal como complemento en la mezcla de sustratos

9.3.1. ¿Qué aporta el carbón vegetal en la agricultura?

El biocarbón conocido como biochar, puede alterar la fertilidad del suelo por medio de un aporte directo de nutrientes (Bolan et al., 2022), lo que significa que mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Por lo general el biocarbón incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo y, por lo tanto, la retención de NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Por ello se considera que, el biochar altera e incide directamente en el rendimiento de los cultivos, notándose un resultado superior en cuanto a otros abonos orgánicos, ayudando a mejorar las diferentes características físico-químicas del suelo (Escalante Rebolledo et al., 2016).

9.3.2. ¿Tiene el carbón capacidad de retención de nutrientes?

El carbón vegetal presenta un alto contenido de materia orgánica 96.5. El biocarbón contiene macro nutrientes como: (0.04%) N, (0.08%) P, (0.75%) K, (0.46) Ca, (0.19%) Mg y (0.03%) S. Además, posee micronutrientes importantes, como B (9.08 ppm), Zn (12.3 ppm), Cu (16.3 ppm), Fe (293.1 ppm) y Mn (158.2 ppm). Además, el carbón vegetal tiene un pH alcalino, con un valor de 9.5, lo que también influye en disponibilidad de ciertos nutrientes en los sustratos. Estos valores muestran que el carbón vegetal no solo mejora las propiedades físicas y químicas del sustrato, sino que también actúa como una reserva de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas (Naula Arteaga & Villamagua, 2006).

9.3.3. Capacidad de sinergia del carbón al mezclarse con sustratos

El biocarbón, denominado localmente carbonilla, es un residuo de la producción de carbón vegetal y consiste en partículas de carbón cuyo reducido tamaño no permite que puedan ser aprovechados comercialmente. Se ha demostrado que su aplicación a suelos agrícolas mejora sus propiedades y como consecuencia el crecimiento de los cultivos. Además, sumado el beneficio medioambiental en cuanto a la posibilidad de secuestro del carbono en el suelo y la consecuente disminución de la emisión de gases de efecto invernadero (Li & Tasnady, 2023).

Como propiedades para ser empleado como sustrato, se destacan su baja densidad aparente, su alta porosidad, capacidad de retención de agua, aireación, capacidad de intercambio catiónico y disponibilidad de ciertos nutrientes (Zulfiqar et al., 2022).

9.4. Importancia del cultivo de Tomate

9.4.1. Origen del tomate

El tomate pertenece a la familia de las Solanáceas. Si bien existen 9 especies del género *Solanum*, sólo *Solanum lycopersicum* es cultivada comercialmente como hortaliza. Es originario de América, más específicamente de la zona andina de Perú, Ecuador, Colombia, Bolivia y Chile, desde donde se extendió al resto de América Central y meridional (Solís Fong, 2019).

9.4.2. Importancia del cultivo de tomate en el mundo

El tomate es actualmente una de las hortalizas más importantes en el mundo, tanto si se considera el consumo en fresco como la industrialización. Anualmente se producen más de 150 millones de toneladas de tomate en el mundo, de las cuales el 25% se destinan a la industria (Solís Fong, 2019).

Los principales países productores de tomate son China, Estados Unidos, Turquía, Egipto, Italia, India, Irán, España, Brasil y México, los cuales contribuyen con cerca del 70 % de la producción mundial. En Centroamérica los más grandes productores de tomate son Guatemala, Honduras y Costa Rica (Marín Fernández et al., 2016).

9.4.3. Importancia económica del cultivo de tomate en Nicaragua

El tomate se cultiva en Nicaragua desde los años 1940's, iniciándose en el municipio de Tisma, departamento de Masaya; posteriormente fue distribuido al resto del país. El tomate en Nicaragua ocupa uno de los primeros lugares en consumo y comercialización entre las hortalizas; los rendimientos varían en un rango de 12 a 18 t ha⁻¹, cultivándose anualmente de 2000 a 2500 ha.

Los principales departamentos que producen tomate en Nicaragua son: Jinotega, Estelí, Matagalpa, Masaya, Nueva Segovia y Managua, reportándose el establecimiento de 1775.12 ha en todo el país, de estas 430.78 ha se producen en el departamento de Jinotega,

370.34 ha en Matagalpa, 356.99 ha en Estelí, Managua 260.72 ha, Nueva Segovia 197.47 ha y Masaya 158.82 ha (Marín Fernández et al., 2016).

9.4.4. Taxonomía del tomate

El tomate es una planta dicotiledónea, perteneciente a la familia solanaceae y al género *Lycopersicon*. *L. esculentum*, es la especie más cultivada y posee un gran número de especies silvestres relacionadas (Jaramillo et al., 2007).

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	Lycopersicon
Especie	Esculentum
Nombre binominal	<i>Lycopersicon esculentum</i>

El tomate fue originalmente llamado *Solanum lycopersicum* por Linneo en 1753, mientras que Miller (1768) en su libro “The Gardener’s Dictionary” utilizó el nombre *Lycopersicon esculentum*. Durante mucho tiempo, el nombre binomial del tomate fue *Lycopersicon esculentum*, pero investigaciones recientes han demostrado que es parte del género *Solanum* y ahora se le conoce de nuevo en general como *Solanum lycopersicum* (Figueroa & Trochez, 2022).

9.4.5. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de tomate

Para un desarrollo óptimo, el tomate requiere temperaturas diurnas entre 20°C y 30°C, y nocturnas de 15°C a 18°C. Valores extremos, superiores a 35°C o inferiores a 10°C, afectan la floración y el cuajado del fruto, reduciendo la producción entre un 4 % y un 14 % debido a la esterilidad del polen causada por el aumento de temperatura nocturna. En cuanto al suelo, aunque no es muy exigente, el cultivo prospera mejor en suelos profundos (mínimo 1 m), con textura media, buena permeabilidad, sin barreras físicas, y tolera pH entre 5.0 y 6.8 (PELLECER, 2022)

9.4.6. Etapas fenológicas del cultivo de tomate

La fenología está determinada por la variedad y las condiciones climatológicas de la zona donde se establece el cultivo. Estas etapas se dividen en cinco.

Establecimiento de la planta joven

Constituye el periodo de formación inicial de las partes aéreas de la planta, conocido como desarrollo del semillero.

Crecimiento vegetativo

Comprende los primeros cuarenta a cuarenta y cinco días desde la siembra de la semilla, después de los cuales las plantas comienzan su desarrollo continuo. A esta etapa le siguen cuatro semanas de crecimiento rápido.

Floración e inicio del cuaje de la fruta

Este periodo se extiende desde el inicio de la floración (de veinte a cuarenta días luego del trasplante) hasta la finalización del ciclo de crecimiento de la planta. El cuaje tiene lugar cuando la flor es fecundada y empieza el proceso de su transformación en fruto.

Inicio del desarrollo de la fruta

El cuaje de la fruta ocurre luego de la polinización, que tiene lugar por medio del viento y las abejas. En esta etapa, una vez iniciado su crecimiento, la fruta no suele caerse y no presenta rastros de la flor. El crecimiento de la fruta y la acumulación de materia seca presentan un ritmo relativamente estable, hasta llegar a dos o tres grados de maduración.

Maduración de la fruta

Por lo general la maduración ocurre aproximadamente ochenta días después del trasplante, dependiendo del cultivar, la nutrición y las condiciones climáticas. Luego, la cosecha continúa hasta llegar de los 180 a 210 días después del trasplante (López Marín, 2017).

9.4.7. Plagas y enfermedades del cultivo de tomate

- **Plagas**

Gusanos trozadores (*Agrotis spp*):

Son larvas que atacan durante la noche, cortando el tallo de plántulas al nivel del suelo, lo que provoca su muerte inmediata. Estos gusanos viven en el suelo y se alimentan de tejidos tiernos. Se recomienda limpiar maleza, aplicar cebos tóxicos y usar tratamientos químicos localizados al anochecer.

Mosca blanca (*Bemisia tabaci*):

Este insecto se alimenta de la savia del jitomate, debilitando la planta y transmitiendo virus como el TYLCV (virus del rizado amarillo del tomate). También produce melaza, que favorece la aparición de hongos. El manejo incluye el uso de mallas antiáfidos, trampas cromáticas, control biológico con avispitas parasitoides y aplicaciones rotativas de insecticidas.

Pulgonos (áfidos):

Son insectos pequeños que se agrupan en los brotes y parte inferior de las hojas, donde chupan savia y transmiten virus. Generan deformaciones, enrollamiento de hojas y melaza. Para su manejo se pueden aplicar insecticidas suaves como jabones potásicos o aceites, y fomentar insectos benéficos como mariquitas o crisopas.

Trips (*Frankliniella spp*):

Estos insectos pequeños y alargados atacan flores y brotes tiernos, causando manchas plateadas, cicatrices y deformación de frutos. También son vectores de virus como el TSWV.

Se recomienda el uso de trampas azules, eliminación de maleza hospedera y tratamientos químicos al inicio de floración.

- **Enfermedades**

Damping-off (pre y post emergencia):

Provocada por hongos del suelo como *Pythium*, *Rhizoctonia* y *Fusarium*, esta enfermedad afecta principalmente plántulas en semilleros. Las plantas no emergen o se colapsan poco después de emerger. El tallo se ve adelgazado, blando y acuoso. Se recomienda el uso de sustratos estériles, riego controlado y aplicación de fungicidas preventivos.

Marchitez por (*Fusarium oxysporum*):

Causa amarillamiento y marchitez progresiva, primero en un lado de la planta. El sistema vascular se torna marrón al cortarlo. Es de difícil control, por lo que se recomienda usar variedades resistentes, desinfectar herramientas y realizar rotación de cultivos.

Mancha bacteriana:

Son enfermedades causadas por bacterias como *Xanthomonas* y *Clavibacter*. Producen manchas necróticas, canchales, marchitez y caída de hojas. Se transmiten por semilla y agua. El manejo se basa en el uso de semilla certificada, desinfección de herramientas, eliminación de plantas enfermas y aplicación de cobre.

Marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*):

Provoca marchitez rápida y colapso de plantas aparentemente sanas. Es de difícil control y puede permanecer en el suelo por años. Se recomienda evitar suelos infestados, usar variedades tolerantes y desinfectar el agua de riego.

Nematodos formadores de agallas (*Meloidogyne spp*):

Atacan las raíces provocando agallas visibles, debilitamiento general, clorosis y menor desarrollo. Se controlan con rotación de cultivos, biofumigación, aplicación de materia orgánica descompuesta y nematicidas, preferentemente biológicos.

(RAMIREZ et al., 2010)

10. Diseño metodológico

10.1. Tipo de investigación

Por el método de investigación, el estudio es experimental con un enfoque cuantitativo y, considerando el nivel de investigación el tipo de estudio es descriptivo, de acuerdo con la clasificación de Hernández-Sampieri & Mendoza, (2018) porque busca determinar la causa-efecto del tipo de sustrato utilizado en la producción de plántulas de tomate, ya que se manipulará la variable independiente, siendo esta el sustrato, para observar el efecto que tienen sobre la variable dependiente, las cuales son las plántulas de tomate. Según el tiempo del estudio, la investigación es de tipo prospectivo transversal, debido que, los datos se recogerán en tiempo real durante un período específico realizándose una sola medición de las variables definidas en el tiempo establecido.

De acuerdo con la clasificación internacional normalizada de la educación (CINE) la investigación se presenta en el campo amplio 08 – Agricultura, silvicultura, pesca y veterinaria, en el campo específico 081- Agricultura y campo y 0811 producción agrícola y ganadera. En conformidad con las líneas de investigación de la UNAN Managua la presente investigación se enmarca en el área de conocimiento Ciencias agropecuarias, en la línea CAG-1 sistema de producción agropecuaria y en la sub-línea 1: Sistema de producción agrícola.

Por su área geográfica la experimentación se llevará a cabo de octubre a noviembre del año 2025, en el municipio de Estelí, departamento de Estelí, Nicaragua, ubicado en las siguientes coordenadas 13°5'34.5" N 86°21.353' O con una altitud de 844 msnm. El clima de este departamento es subtropical seco, con temperaturas de 17° a 32°C.

10.2. Población y selección de la muestra

Población: estará conformada por 150 plántulas de tomate, distribuidas igualmente en 3 tratamientos, con 50 plántulas por cada tratamiento.

Para la determinar la población, se utilizó la potencia estadística demostrando que al utilizar 50 plantas por tratamientos existe el 99.6% de no cometer el error tipo 2, de no encontrar diferencias significativas cuando si las hay.

Muestra: estará compuesta por un conjunto de plantas seleccionadas al azar dentro de cada tratamiento, se usarán 30 plantas por cada tratamiento, sumando un total de 90 plantas en toda la muestra.

Se tomará una muestra representativa de la población que estará conformada por 30 plantas a las cuales se les medirá la altura, número de hojas y grosor del tallo, con esta muestra se representa un 90% de confiabilidad, asumiendo un error estándar del 10%. La ecuación para la selección de la muestra fue la siguiente:

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{N * e^2 + Z^2 * p * q} \quad Ec. 1$$

Dónde: “Z”: 1.96 es el nivel de confianza del 95%, “N” es el universo; “pq” son probabilidades complementarias de 0.5 c/u, “e” es el error de estimación aceptable para encuestas entre 1% y “n” es el tamaño calculado de la muestra.

El tipo de muestreo utilizado en esta investigación es probabilístico ya que todas las unidades de muestreo tienen la misma probabilidad de ser seleccionadas. Específicamente, se aplicará un muestreo simple porque es considerado el método más básico utilizado en muestreos estadísticos, el cual garantizará que cada repetición tenga la misma probabilidad de formar parte de la muestra, permitiendo así obtener resultados representativos y confiables (Muguira, 2017).

10.3. Técnicas, instrumentos y procedimientos para la recolección de datos

El método de investigación utilizado en este estudio es experimental, y consiste en un diseño completamente aleatorizado (DCA). El modelo aditivo lineal es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \quad Ec. 2$$

Dónde: Y_{ij} observación del tratamiento, i en la parcela j τ_i efecto del tratamiento i , ϵ_{ij} término de error aleatorio asociado a la observación Y_{ij}

Las técnicas que nos permitirán llegar a la recopilación de datos, serán:

Observación directa: Esta nos permitirá observar de forma habitual el comportamiento de las variables morfológicas de las plántulas a lo largo de la investigación.

Medición directa: esta técnica nos permitirá medir las variables cuantitativas como: altura de la planta, número de hojas, longitud de la raíz, peso fresco y peso seco.

Además, los distintos instrumentos utilizados para la recolección de datos de esta investigación serán los siguientes, regla milimétrica, pesa, fichas de campo junto con hojas de observación y medios tecnológicos como cámaras telefónicas.

Procedimiento

La recolección de la corteza de pino se realizó en un bosque ubicado en la comunidad de Jícaro, Nueva Segovia. El material fue almacenado en recipientes plásticos limpios y posteriormente sometido a un proceso de limpieza para eliminar impurezas, restos vegetales y partículas ajenas al material objetivo. Una vez limpia, la corteza se fraccionó manualmente en trozos de menor tamaño para facilitar su descomposición.

El material fue colocado en agua para inducir un proceso de descomposición controlada durante un periodo aproximado de dos meses. Durante este tiempo, el agua se renovó semanalmente con el objetivo de eliminar residuos de resina y evitar procesos de fermentación indeseados. Paralelamente, se realizaron mediciones periódicas de pH, manteniéndose un valor promedio de 6.2, considerado adecuado para la degradación del material orgánico.

Transcurrido el periodo de descomposición, la corteza se filtró y clasificó según el tamaño de las partículas, ya que la degradación no fue homogénea. Las fracciones más finas se extrajeron y se colocaron a secar a temperatura ambiente, mientras que las partículas más grandes permanecieron en agua para continuar su proceso de descomposición.

Una vez seca, la corteza de pino fue triturada utilizando un molino de discos hasta obtener una textura homogénea. Posteriormente, se sometió a un proceso de curado mediante inmersión en agua caliente, con el fin de eliminar posibles agentes patógenos o compuestos fitotóxicos, quedando lista para ser utilizada como sustrato.

El biochar utilizado se obtuvo a partir de cascarilla de arroz carbonizada, molida hasta obtener partículas finas. La mezcla del sustrato se formuló en una proporción de 75% corteza de pino triturada y 25% biochar. La fibra de coco empleada fue adquirida comercialmente, presentando condiciones óptimas para su uso inmediato.

Con los sustratos preparados, se procedió a la siembra en bandejas para semillero, colocando dos semillas por cavidad a una profundidad de 0.5 cm. Las bandejas se mantuvieron en un ambiente oscuro hasta la germinación, realizándose riegos por aspersión día de por medio, aplicando un volumen de 250 ml por tratamiento.

Para el montaje del sistema hidropónico, se emplearon tubos de PVC de 2 pulgadas de diámetro, a los cuales se les practicaron orificios de $\frac{1}{4}$ de pulgada, con una separación de 8 cm entre cada uno, destinados a la colocación de las plántulas en canastillas. Una vez alcanzada la etapa de trasplante, las plántulas germinadas fueron trasladadas al sistema hidropónico donde se les suministrará la solución nutritiva correspondiente y estarán bajo la protección de un pequeño invernadero de 2.50 mts de largo y 100 m de alto, el cual estará elaborado a base de malla sarán sombra al 35%.

La solución nutritiva empleada es de tipo comercial, compuesta por dos fases: solución A (macronutrientes) y solución B (micronutrientes). Se aplicará semanalmente, utilizando una dosis de 7.5 ml por cada 4 litros de agua, cantidad suficiente para abastecer el volumen del sistema.

Para asegurar una adecuada oxigenación del agua, se incorporará peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 3%, en una proporción de 3 ml por litro de agua. Esta aplicación se realizará de manera simultánea al cambio de solución nutritiva, garantizando un ambiente óptimo para el desarrollo radicular y la absorción de nutrientes.

La recolección de los datos se llevará a cabo mediante la observación directa de las variables en estudio, aplicando una sola medición directa a las plántulas durante su proceso de desarrollo.

La germinación se registrará diariamente contando el número de semillas emergidas, utilizando guía de observación y el calendario de siembra, hasta obtener el porcentaje y la velocidad de germinación. De igual manera, después de haber germinado la semilla, se

medirán las variables: altura, diámetro del tallo y número de hojas, para ello se utilizarán reglas milimétricas y pie de rey para la medida del diámetro.

10.4. Confiabilidad y validez de los instrumentos

Para garantizar la confiabilidad de los instrumentos utilizados en la recolección de, se utilizarán equipos estandarizados tales como: regla milimétrica, pie de rey, balanza y horno de secado. Estos instrumentos permitirán obtener las mediciones repetibles y consistentes, reduciendo los errores por manipulación del observador. Así mismo, la validez de los instrumentos seleccionados se relaciona correctamente con las variables de estudio. De esta manera, los instrumentos a emplear garantizarán tanto la confiabilidad como la validez.

10.5. Técnicas, instrumentos y procedimientos para el procesamiento y análisis de datos

Para el desarrollo de esta investigación se organizará una base de datos estructurada en Microsoft Excel, lo que servirá para eliminar datos erróneos o algunas inconsistencias presentes en la información recolectada. Posteriormente se realizará un análisis estadístico mediante un análisis de varianza (ANOVA) unifactorial para determinar el efecto de cuatro tipos de sustrato (variable independiente) sobre variables de crecimiento y desarrollo en plántulas de *S. lycopersicum* (variables dependientes), tales como altura, número de hojas, longitud radicular, peso fresco y seco, y vigor.

Se probarán diferentes estructuras de varianza residual para comprobar la homogeneidad de varianzas, seleccionando el mejor modelo con base en los criterios de información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC). En todos los casos se reportarán los valores promedio \pm 1 error estándar. Para identificar diferencias significativas entre tratamientos, se utilizará la prueba de comparación de medias LSD de Fisher ($P < 0.05$). Todos los análisis estadísticos se llevarán a cabo utilizando el software InfoStat.

11. Análisis y discusión de resultados

Germinación promedio por tratamiento

El análisis de varianza mostró que no hubo diferencias significativas de los sustratos evaluados sobre el porcentaje final de germinación de semillas de *S. lycopersicum* ($F= 1.62$; $P=0.2164$; Figura 1). Sin embargo, el menor porcentaje de germinación de semillas se obtuvo en el tratamiento turba de coco (26.2%), seguido por el tratamiento de corteza de pino + carbón (51.0%) y corteza de pino (53.4%).

Por otro lado, se observó que la germinación se aceleró durante los primeros días en el tratamiento corteza de pino y corteza de pino + carbón, mientras que la turba de coco tuvo un inicio más lento (figura 2). Esto evidencia variaciones en la velocidad de germinación, según el sustrato, aunque en el porcentaje final no hay diferencias significativas.

El porcentaje final de germinación de *S. Lycopersicum* no presentó diferencias significativas entre los sustratos evaluados, sin embargo, la menor germinación se obtuvo en la turba de coco (26.2%), mientras que la corteza de pino y la corteza de pino + carbón alcanzaron valores superiores (53.4% y 51.0%, respectivamente). Estos resultados coinciden con lo reportado por Chowdhury et al., (2024), quienes encontraron que la corteza de pino favorece una germinación más rápida y porcentajes más altos en la germinación de tomate, en comparación con sustratos más fibrosos como la turba de coco. Lo que podría concluir en que la corteza de pino parece ofrecer un microambiente más favorable para la germinación temprana de las semillas.

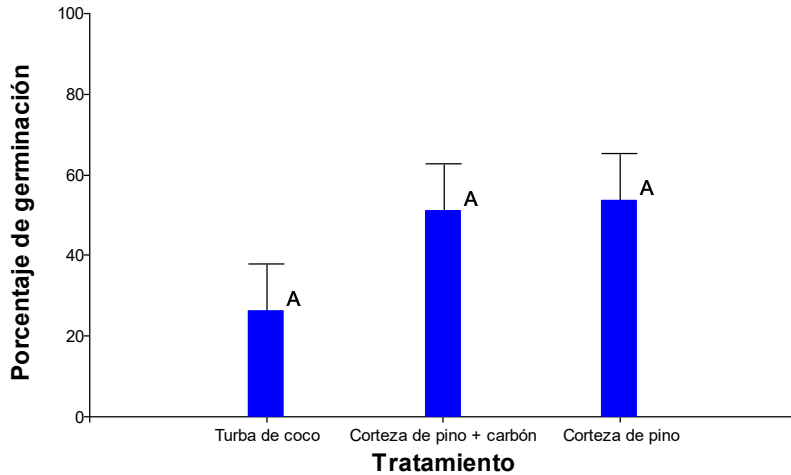


Figura 1. Porcentaje de germinación promedio

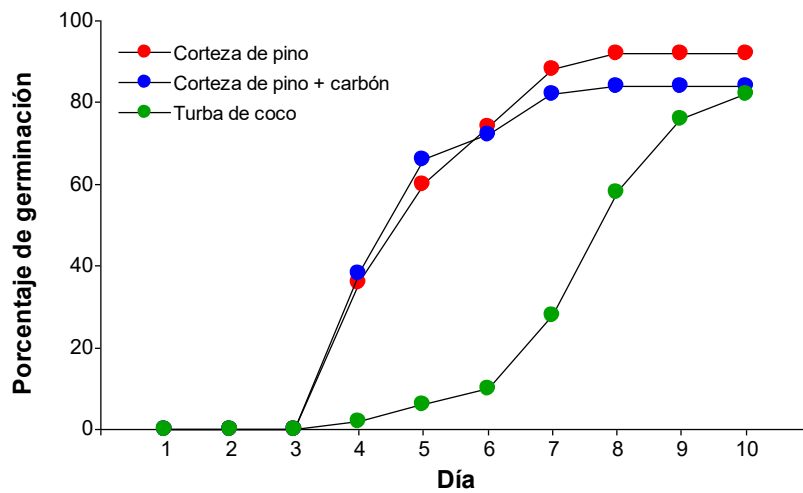


Figura 2. Porcentaje de germinación acumulado

Propiedades físicas y químicas de los sustratos

Se presentan los resultados obtenidos al analizar las propiedades físicas y químicas de los sustratos elaborados a base de corteza de pino y corteza de pino + carbón. Estos análisis incluyeron la caracterización granulométrica, la capacidad de retención de agua, la porosidad total y la densidad aparente. Estos parámetros nos permitieron determinar la capacidad del sustrato para su uso en la producción de plántulas de *S. Lycopersicum*. Estas propiedades se lograron determinar siguiendo los procedimientos definidos por Quesada Roldán & Marin Thiele, (2014), quienes establecen una metodología para la evaluación física de sustratos orgánicos.

Granulometría

La granulometría se evaluó utilizando tamices de 5mm, 4mm, 2mm, siguiendo los procedimientos establecidos por Quesada Roldán & Marin Thiele, (2014). La muestra inicial de corteza de pino fue de 1.304 g, se preparó en 4 fracciones y se logró determinar el porcentaje de partículas utilizando la fórmula de porcentaje, cuyos resultados se representan en la Tabla 1.

La distribución granulométrica mostró algunas diferencias entre los dos sustratos evaluados. En el caso de la corteza de pino, el mayor porcentaje de partículas correspondió a la fracción <2mm (51.23%), seguida de la fracción de 2mm (27%), mientras que las fracciones más gruesas 4mm y >5mm únicamente representaron el 9.28% y 12.12%, respectivamente.

De igual manera, el sustrato de corteza de pino + carbón presento que el mayor porcentaje de partículas son finas <2mm (61.20%), siendo mayor que el sustrato anterior. Las fracciones de 2mm, 4mm y >5mm representaron el 21.70%, 7.06% y 10.05%, respectivamente. Considerando que el incremento en las partículas <2mm se asocian al aporte del carbón triturado, el cual tiende a desintegrarse fácilmente en partículas finas.

El sustrato de corteza de pino + carbón presento la mayor proporción de partículas finas <2mm (61.20%), superando a la corteza de pino sola (51.23%). Los cuales son valores superiores a los reportados por Castro Garibay et al., (2019), quienes evaluaron sustratos a base de corteza de pino y registraron porcentajes de partículas finas mas bajos. Según los autores, los porcentajes elevados de partículas pequeñas incrementan el riesgo de compactación y reducen la aireación. Por esta razón, aunque la granulometría de partículas finas favorezca la capacidad de retención de agua, es probable que requiera aumento de partículas gruesas para mejorar el equilibrio físico del sustrato.

Tratamiento	Tamiz	Masa (g)	Porcentaje (%)
Corteza de pino	>5mm	158	12.12
	4mm	121	9.28
	2mm	357	27.38
	<2mm	668	51.23
Total		1.304	100
Corteza de pino + carbón	>5mm	131	10.05
	4mm	92	7.06

	2mm	283	21.70
	<2mm	798	61.20
Total		1.304	100

Tabla 1. Distribución de granulometría

Además, se evaluó la capacidad de retención de agua, porosidad total y densidad aparente (Tabla 2). Estas propiedades se lograron analizar siguiendo los procedimientos y fórmulas establecidas por Quesada Roldán & Marin Thiele, (2014) quienes indican que para obtener dichos resultados se requiere instrumental mínimo, entre ellos:

1. Tomar vasos plásticos y realizarle 5 agujeros en forma de x y tapar los agujeros con cinta adhesiva.
2. Agregar volumen de sustrato sin comprimir, en ml, por cada vaso
3. Saturar con agua las muestras y dejar reposar por 15 minutos.
4. Quitar la cinta anteriormente puesta, dejar drenar durante 2 minutos y se mide el agua drenada en una probeta.
5. Una vez drenado el sustrato se pesarán las muestras y se determinará el peso húmedo
6. Una vez pesadas las muestras se llevarán a secado en horno a 65°C por 48hrs, cuando las muestras estén secas, se pesa nueva mente para obtener el dato (peso seco).

Una vez empleado todo este procedimiento, se evaluaron las propiedades físicas de los sustratos, para el cual se utilizó un volumen estándar de 650 ml en cada tratamiento, siguiendo la metodología establecida en el documento de referencia antes mencionado. El sustrato compuesto por corteza de pino + carbón alcanzó un peso húmedo de 532g, tras la aplicación de 390 ml de agua, logrando drenar 132ml. Posteriormente, la muestra un peso seco final de 217.39 g, después del secado en horno.

Dónde, el sustrato de corteza de pino obtuvo un peso húmedo de 543 g, después de recibir la misma cantidad de agua que el sustrato anterior, logro drenar 134 ml, bajo las mismas condiciones experimentales, el peso seco final fue de 227 g. Estos valores permitieron cuantificar la cantidad de agua retenida por cada material y, junto con el volumen utilizado, calcular la capacidad de retención de agua, la porosidad total y la densidad aparente a través de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Porosidad total (\%)} = \frac{(\text{peso húmedo} - \text{peso seco}) + \text{volumen drenado} \times 100}{\text{Volumen del sustrato}} \quad \text{Ec. 3}$$

$$\text{Capacidad de retención de agua (\%)} = \frac{(\text{peso húmedo} - \text{peso seco}) \times 100}{\text{Volumen del sustrato}} \quad \text{Ec. 4}$$

$$\text{Densidad de masa (g/ml)} = \frac{\text{Peso seco}}{\text{Volumen del sustrato}} \quad \text{Ec. 5}$$

Se muestra que los valores obtenidos para el porcentaje de capacidad de retención de agua fueron similares para ambos sustratos (=51%), lo que indica una capacidad moderadamente alta para retener agua después del drenaje. Estos resultados son adecuados comparado con la granulometría anteriormente observada, pues la presencia significativa de partículas finas favorece la retención de agua.

La porosidad total superó el 70% en ambos sustratos, con valores de 72.62% para la corteza de pino y 73.14% para la corteza de pino + carbón. La densidad aparente que se obtuvo fue 0.353 g/ml para la corteza de pino y 0.369 g/ml para la corteza de pino + carbón. Sin embargo, aunque la porosidad es alta y superó el 70%, en ambos sustratos, este parámetro debe analizarse en conjunto con la densidad aparente para poder comprender su funcionalidad. A pesar de la elevada porosidad, la densidad registrada es mayor a la recomendada para sustratos hortícolas. De acuerdo con Baudoin et al., (2002) un sustrato ideal debe presentar una densidad aparente menor a (<0,22 g/ml) para asegurar una adecuada aireación, menor compactación y buena distribución radicular. Esto plantea que, en los sustratos evaluados la mayoría de los poros son microporos, lo cual limita la disponibilidad de aire en la zona radicular. por lo tanto, aunque se presenten buenas características de retención de agua, ambos sustratos podrían requerir la incorporación de partículas más grandes para poder potenciar su uso agrícola.

Propiedades	Corteza de pino	Corteza de pino + carbón
Capacidad de retención de agua (%)	51.16	51.35
Porosidad total (%)	72.62	73.14
Densidad aparente (g/ml)	0.353	0.369

Tabla 2. Propiedades físicas de los sustratos evaluados

Además de las propiedades físicas, se evaluaron los parámetros químicos de los sustratos con el fin de determinar la circulación de nutrientes antes y después del su uso. Estos parámetros nos permitieron identificar cambios en la disponibilidad de nutrientes, acidez, conductividad eléctrica y otros factores que podrían influir en la calidad del sustrato (Tabla 3).

Antes de ser utilizados los tres sustratos evaluados presentaron diferencias notorias en sus parámetros químicos. La corteza de pino mostró una humedad inicial de 20.7%, conductividad eléctrica (EC) de 31 $\mu\text{S/cm}$, mientras que el sustrato de corteza de pino + carbón registró una humedad ligeramente mayor (24.1%) y un valor de EC de 24.1 $\mu\text{S/cm}$. Por su parte, la turba de coco presentó la mayor humedad inicial (23.2%) y el valor mas bajo de EC (19 $\mu\text{S/cm}$). En cuanto al pH, la corteza de pino fue ligeramente alcalina (7.4), mientras que la corteza de pino + carbón mostró un pH más ácido (5.7) y la turba de coco que se mantuvo dentro de un rango moderado (6.0). Los contenidos iniciales de nutrientes fueron bajos en todos los sustratos, destacándose valores reducidos de N, P, K, propios de materiales orgánicos inertes.

Después de haberlos usado, se observaron cambios notables en los parámetros químicos, la humedad final aumentó destacándose la mezcla de corteza de pino + carbón con 53%, seguida de la corteza de pino sola 47.7%, mientras que la turba de coco registró el valor más bajo 25.9%. La EC aumentó en todos los sustratos, demostrando acumulación de sales durante el ciclo productivo. El mayor incremento se observó en la corteza de pino + carbón (844 $\mu\text{S/cm}$), seguida de la corteza de pino (436 $\mu\text{S/cm}$), mientras que la turba de coco presentó el valor más moderado (341 $\mu\text{S/cm}$). Lo que sugiere que la mezcla de corteza + carbón acumuló la mayor cantidad de sales disponibles.

En cuanto al pH, los valores finales permanecieron en rangos aptos para la producción hortícola. La corteza de pino alcanzó un pH de 6.9, la mezcla con carbón 6.2 y la turba de coco mantuvo el valor más alcalino 7.4. Los contenidos nutricionales también aumentaron después de su uso en todos los sustratos, donde la corteza de pino presentó la mayor concentración de NPK, lo que indica una mayor capacidad para absorber nutrientes. La corteza de pino mostró valores intermedios, mientras que la turba de coco presentó los niveles más bajos. Este comportamiento coincide con los niveles de fertilidad, donde la mezcla de carbón alcanzó el valor más alto (464 mg/kg), seguido de la corteza de pino sola y la turba de coco.

Cabe aclarar, que todos estos datos se obtuvieron a través de un sensor multiparamétrico de suelo tipo 5 pines (RS-485), el cual es un dispositivo que integra sondas metálicas de acero inoxidable que, al ser insertadas en el sustrato envían la información al software asociado (Soil Parameter Detector) y a través de él se pueden medir variables como temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica (EC) y estimar los contenidos de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y fertilidad del suelo, registrando todos estos valores en tiempo real y los almacena en formato xls para su posterior análisis.

Los resultados mostraron diferencias claras entre los tres sustratos evaluados. Antes de usarlos, todos presentaron bajo contenido de nutrientes y baja conductividad eléctrica, lo que concuerda con lo descrito por Wilkerson, (1981) y Abad et al., (2002), quienes señalan que tanto la corteza de pino como la turba de coco son materiales orgánicos inertes con escasa fertilidad inicial. Después del cultivo, se registró un aumento general en la CE y los nutrientes (NPK), especialmente en la mezcla de corteza de pino + carbón, que alcanzó el valor más alto de fertilidad (464 mg/kg).

Este comportamiento coincide con lo dicho por Jackson, (2008), quien explica que el carbón favorece la adsorción y retención de iónica, incrementando la acumulación de sales. En la corteza de pino, la ligera disminución del pH (de 7.4 a 6.9) y el aumento de nutrientes reflejan la maduración química descrita por Wilkerson, producto de la descomposición orgánica y liberación de ácidos húmicos. Por su parte, la turba de coco mantuvo los valores más estables de pH y EC, lo que coincide con Abad et al., (2002), quienes destacan su buena aireación y drenaje, que reducen la salinización. En conjunto, estos resultados confirman que

la descomposición del sustrato influye directamente en su comportamiento químico. Lo que concluye con que la corteza de pino + carbón retiene más nutrientes, pero acumula sales, la corteza de pino mejora a medida que se va usando y la turba de coco parece mantener un equilibrio químico mas estable.

Propiedades químicas (antes)				
Parámetro	Unidad	Corteza de pino	Corteza de pino + carbón	Turba de coco
Temperatura	°C	26.3	26.2	26.3
Humedad	%	20.7	24.1	23.2
Conductividad (EC)	μS/cm	31	24	19
pH		7.4	5.7	6
Nitrógeno(N)	mg/kg	1	1	1
Fósforo(P)	mg/kg	2	1	1
Potasio (K)	mg/kg	4	3	5
Fertilidad	mg/kg	17	13	15
Propiedades químicas (después)				
Temperatura	°C	23.3	22.6	22.6
Humedad	%	47.7	53	25.9
Conductividad (EC)	μS/cm	436	844	341
ph		6.9	6.2	7.4
Nitrógeno (N)	mg/kg	21	42	17
Fosforo (P)	mg/kg	30	59	23
Potasio (K)	mg/kg	69	135	54
Fertilidad	mg/kg	239	464	187

Tabla 3. Propiedades químicas de los sustratos antes y después de utilizarse

Número de Hojas

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en el número de hojas entre los tratamientos ($F=4.86$; $P= 0.0100$). las medias ajustadas indicaron que corteza de pino produjo el mayor número de hojas (3.17), seguido de corteza de pino + carbón (2.97) y turba de coco (2.60) (figura 3). Las letras compartidas indicaron que la turba de coco fue significativamente menor que la corteza de pino.

Las plántulas establecidas en el sustrato de corteza de pino presentaron en promedio el mayor número de hojas 3.17, seguido por la corteza de pino + carbón 2.97 y la turba de coco 2.60. estos valores son similares a los reportados por Chowdhury et al., (2024) quienes en su estudio observaron que las plántulas de tomate cultivadas en corteza de pino presentaron un promedio de 4.24 hojas a las dos semanas de crecimiento, mientras que el tratamiento con turba de coco mostraron valores menores. La mayor cantidad de hojas en el tratamiento de corteza de pino apunta a que este sustrato favorece a un mejor desarrollo foliar inicial, lo cual posiblemente se deba a que tiene una mejor aireación y drenaje que la turba de coco.

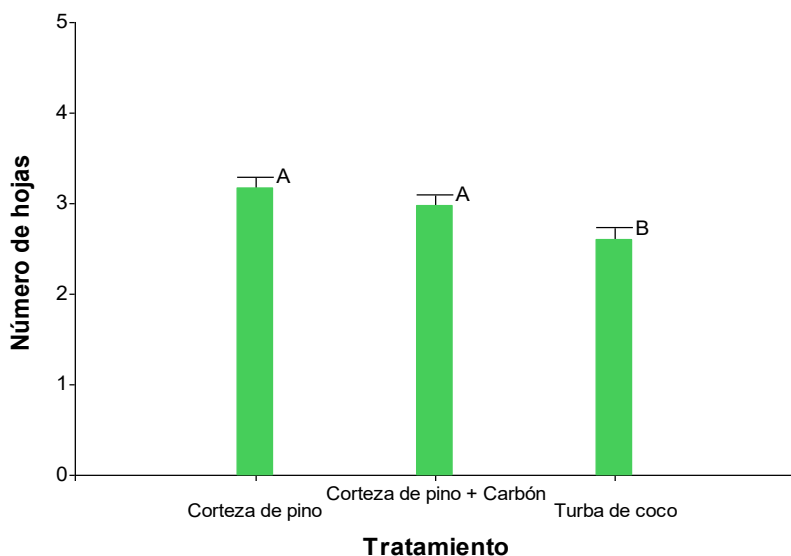


Figura 3. Número promedio de hojas

Altura de la planta

El análisis de varianza indicó tendencia a diferencias marginales ($F=2.97$; $P=0.0568$) indicando la mayor altura en el tratamiento Turba de coco (8.91 cm), seguido de la corteza de pino + carbón (8.08 cm) y corteza de pino (7.26 cm) (figura 4)

La altura promedio de las plántulas fue mayor en el tratamiento con turba de coco, alcanzando una altura promedio de 8.91 cm, seguido de la corteza de pino + carbón y corteza de pino sola con 8.08 cm y 7.26 cm, respectivamente. Aunque estadísticamente solo hubo diferencias estadísticas marginales. Estos resultados concuerdan también con el estudio de Chowdhury et al., (2024) quienes registraron alturas promedio de 30.0 cm en la turba de coco y 23.4 cm en la corteza de pino, mostrando una tendencia similar de mayor altura en la turba de coco. La ligera ventaja en el promedio de altura observada con la turba de coco podría deberse a su alta capacidad de retención de agua por sus partículas pequeñas lo que la hace más compacta, lo cual pudo favorecer la elongación del tallo, pero menor número de hojas.

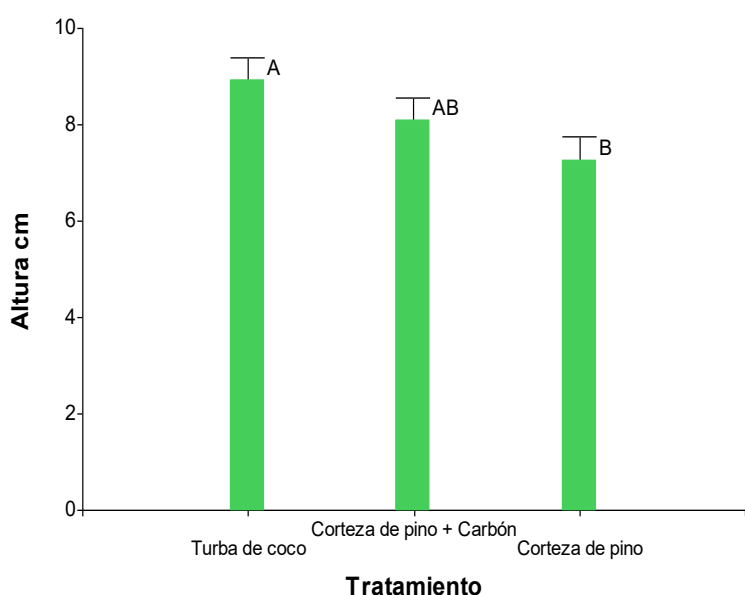


Figura 4. Altura promedio

Biomasa seca

El análisis de varianza mostró que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos sobre el PSTotal de las plántulas ($F=1.67$; $P=0.1950$). Las medidas ajustadas indicaron valores muy similares entre los sustratos evaluados, donde la turba de coco registro un promedio de (0.03), mientras que la mezcla de corteza de pino + carbón y la corteza sola presentaron un promedio de (0.02) (figura 5).

Los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos sobre la biomasa seca total (PSTotal) de las plántulas, con promedios muy similares (0.02 y 0.03 g). Estos valores son bajos en comparación con los reportados por Ortega-Martínez et

al., (2010), quienes en su estudio de distintos sustratos (turba, aserrín de pino y lombricomposta) para plántulas de tomate, observaron que estos últimos tres sustratos generaron plántulas con mayor acumulación de materia seca. Esto relacionar con que la principal diferencia podría ser por las distintas etapas o condiciones evaluadas y que, aunque en este estudio los diferentes sustratos no mostraron diferencias en la biomasa seca total, todos los sustratos parecen ofrecer condiciones aceptables para el desarrollo inicial de las plantas.

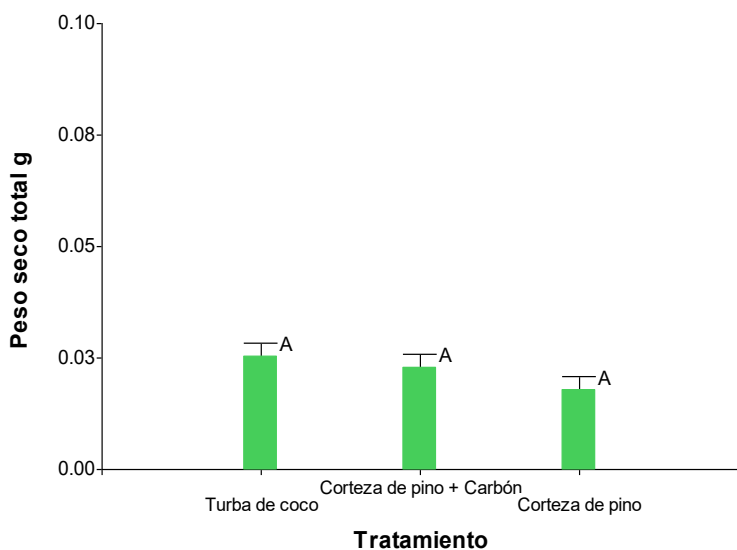


Figura 5. *Peso seco total*

Fracción de masa foliar

El análisis de varianza mostro que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados sobre la variable de FMH ($F=1.23$; $P=0.2981$). las medidas ajustadas reflejaron valores muy cercanos entre sí, donde la corteza de pino y la mezcla de corteza de pino + carbón presentaron promedios de (0.40), mientras que la turba de coco registro un valor de (0.36) (figura 6).

Estos resultados sugieren que las plántulas asignaron de manera uniforme la biomasa a las hojas, independientemente del sustrato. La similitud en la fracción de masa foliar (FMH) podría explicarse por una capacidad similar de los sustratos para mantener condiciones básicas de crecimiento, como retención de humedad y disponibilidad de nutrientes. De manera práctica, esto indica que las plántulas priorizan mantener un desarrollo foliar estable,

dado que las hojas son fundamentales para el proceso de fotosíntesis y el crecimiento en general de la planta.

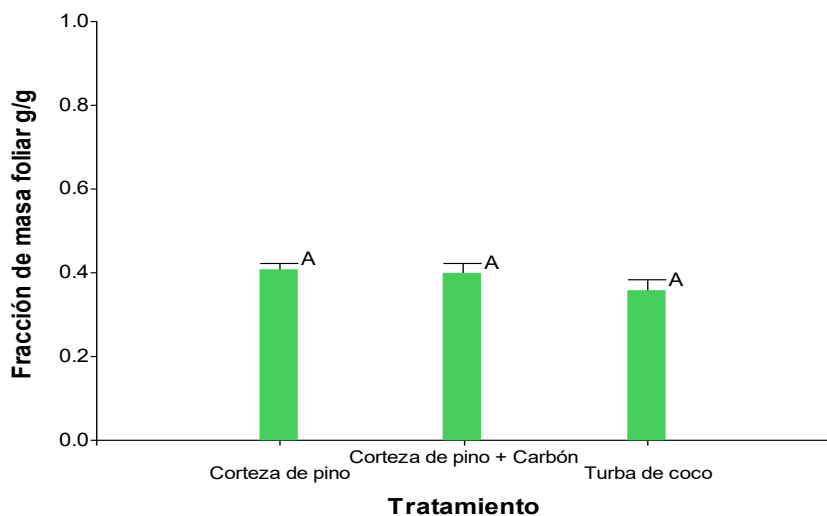


Figura 6. Fracción de masa foliar

Fracción de masa del tallo

El análisis de varianza reveló que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos sobre la variable FMT ($F=0.22$; $P=0.8058$), indicando una respuesta homogénea de las plántulas independientemente del sustrato utilizado. Las medidas ajustadas mostraron valores prácticamente iguales entre los tratamientos con (0.40) para la mezcla de corteza de pino + carbón y para la turba de coco, mientras que la corteza de pino presentó un valor ligeramente menor (0.38) (figura 7).

Este resultado indica que la proporción de biomasa destinada a la estructura de soporte de las plántulas fue similar en todos los sustratos evaluados. Esto podría indicar que, durante la etapa temprana de desarrollo las plántulas no percibieron variaciones suficientes en las propiedades físicas como para alterar la asignación de recursos al tallo. La uniformidad en esta inversión estructural puede representar una estrategia de estabilidad funcional, asegurando que las plántulas mantengan un soporte adecuado para el crecimiento foliar y la futura expansión radical, independientemente del tipo de medio de crecimiento.

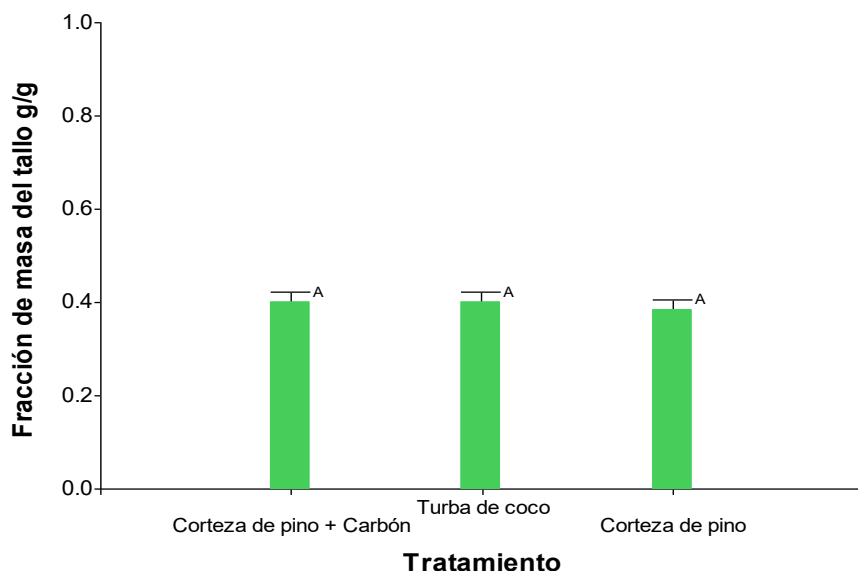


Figura 7. Fracción de masa del tallo (FMT)

Fracción de masa de la raíz

El análisis de varianza mostró que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos evaluados sobre la variable FMR ($F=1.15$; $P=0.3215$), reflejando una respuesta similar en todos los sustratos probados. Las medias ajustadas indicaron valores muy próximos entre sí, donde la turba de coco obtuvo el promedio más alto (0.24), seguido de la corteza de pino (0.21) y corteza de pino + carbón (0.20).

Aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas, se puede observar una ligera tendencia hacia una mayor asignación de biomasa en la raíz del tratamiento con turba de coco. Esta tendencia podría deberse a una mejor retención de agua y aireación en este sustrato, favoreciendo la expansión del sistema radicular. Sin embargo, la similitud general entre los tratamientos sugiere que, bajo condiciones experimentales, las plántulas mantuvieron un patrón de asignación de biomasa equilibrado, posiblemente como una estrategia de supervivencia, asegurando que la inversión en raíces no comprometa el crecimiento de hojas y tallo, las cuales son esenciales para la fotosíntesis y el soporte de la planta.

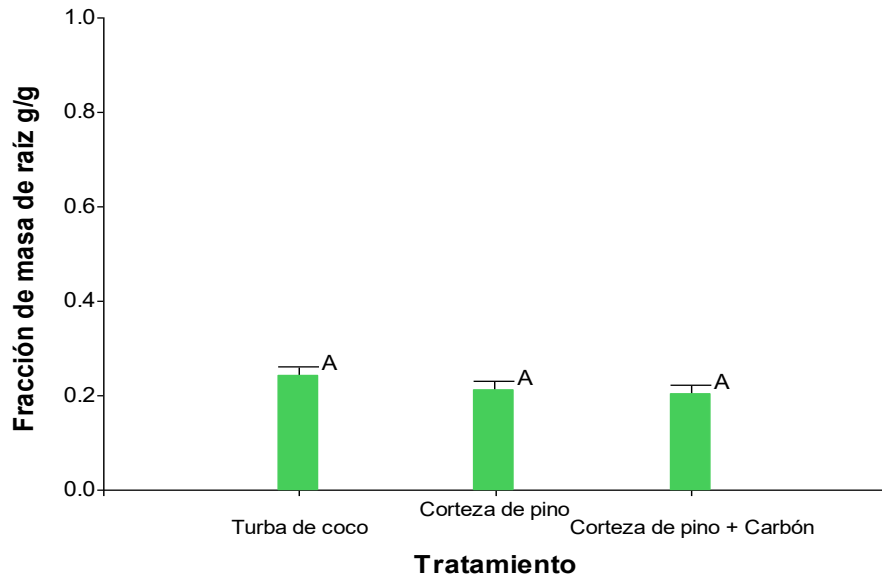


Figura 8. Fracción de masa de raíz (FMR)

12. Conclusiones

Los sustratos evaluados no mostraron diferencias significativas en el porcentaje final de germinación de *S. lycopersicum*. Aunque la corteza de pino aceleró la germinación inicial, ningún sustrato registró diferencias significativas en la germinación total.

Los sustratos evaluados presentaron diferencias en sus propiedades, pero todos permiten el desarrollo inicial de las plántulas de *S. lycopersicum*.

Los sustratos evaluados no mostraron diferencias significativas sobre el crecimiento ni la distribución de masa de las plántulas de *S. lycopersicum*, por lo tanto, se puede concretar que todos los sustratos son adecuados para el desarrollo inicial de las plántulas.

En general, los resultados muestran que los sustratos evaluados (corteza de pino, corteza de pino + carbón y turba de coco) son adecuados para el desarrollo inicial de las plántulas de *S. lycopersicum*, ya que no generaron diferencias en la germinación, el crecimiento ni la distribución de biomasa. Aunque sus propiedades físicas son distintas, todos permitieron un desarrollo similar de las plántulas, lo que quiere decir que todos los sustratos pueden utilizarse durante la fase inicial del cultivo.

13. Recomendaciones

A los pequeños productores y especialmente a los productores con fincas agroforestales, con presencia de pino, se les recomienda considerar el uso la corteza de pino compostado como sustrato alternativo para producción de plántulas hortalizas o para cultivos de hortalizas con ciclo completo en hidroponía.

A los futuros investigadores, se les recomienda seguir indagando sobre el uso de la corteza de pino compostada como sustrato para cultivos hidropónicos ampliando así el área de conocimientos sobre un producto tan favorable para la producción de cultivos hortícolas.

A los futuros estudiantes agrónomos, se les recomienda usar este estudio como referencia inicial para el estudio de otras maneras de uso de la corteza de pino como sustrato.

14. Referencias

- Abad, M., Noguera, P., Puchades, R., Maquieira, A., & Noguera, V. (2002). Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Bioresource Technology*, 82(3), 241–245.
- Agostini, M. D. L. Á., Monterubbianesi, M. G., Studdert, G. A., & Maurette, S. (2014). Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Ciencia Del Suelo*, 32(2), 171–176.
- Barbado, J. (2005). Hidroponía. *Su Empresa En Cultivos En Agua*.
- Barbaro, L. A., Iwasita, B. E., Karlanian, M. A., & Rubio, E. (2023). Utilización de polvo de roca basáltica en comparación con la dolomita para ajustar el pH de un sustrato a base de compost de corteza de pino y su respuesta en la disponibilidad de nutrientes. *AgriScientia*, 40(2), 5.
- Barbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., & Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 35(2), 126–136.
- Baudoin, W., Nisen, A., Grafiadellis, M., Verloft, H., Jiménez, R., De Villele, O., La Malfa, G., Zabeltitz, V., Martínez, P., & Garnaud, J. (2002). El cultivo protegido en clima mediterráneo. *Medios y Técnicas de Producción. Suelo y Sustratos. FAO. Roma*, 143–182.
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Bolan, N., Hoang, S. A., Beiyuan, J., Gupta, S., Hou, D., Karakoti, A., Joseph, S., Jung, S., Kim, K.-H., & Kirkham, M. B. (2022). Multifunctional applications of biochar beyond carbon storage. *International Materials Reviews*, 67(2), 150–200.
- Bosch Mayol, M., Costa, J. L., Cabria, F. N., & Aparicio, V. C. (2012). Relación entre la variabilidad espacial de la conductividad eléctrica y el contenido de sodio del suelo.

Ciencia Del Suelo, 30(2), 95–105.

- Caballero-Salinas, J. C., Ovando-Salinas, S. G., Núñez-Ramos, E., & Aguilar-Cruz, F. (2020). Sustratos alternativos para la producción de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en Chiapas. *Siembra*, 7(2), 14–21.
- Calzada López, S. G., Kohashi Shibata, J., Uscanga Mortera, E., García Esteva, A., & Yáñez Jiménez, P. (2014). Temperaturas cardinales y velocidad de germinación en cultivares de tomate de cáscara. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(SPE8), 1451–1458.
- Castañares, J. L. (2000). *ABC de la Hidroponía*.
- Castillo Martínez, L., Morán Centeno, J. C., & Varela Ochoa, G. (2019). Sistemas de producción de tomates (*Solanum lycopersicum* M.) en Nicaragua: una caracterización en el municipio de Tisma, Masaya, Nicaragua. *La Calera*, 19(32), 8–15.
- Castro Garibay, S. L., Aldrete, A., López Upton, J., & Ordaz Chaparro, V. M. (2019). Caracterización física y química de sustratos con base en corteza y aserrín de pino. *Madera y Bosques*, 25(2).
- Chowdhury, M., Espinoza-Ayala, A., Samarakoon, U. C., Altland, J. E., & Yang, T. (2024). Substrate Comparison for Tomato Propagation under Different Fertigation Protocols. *Agriculture*, 14(3), 382.
- Costales, D. (2007). EFECTO DEL TRATAMIENTO DE SEMILLAS CON UNA MEZCLA DE OLIGOGALACTUR ? NIDOS SOBRE EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Cultivos Tropicales*, 28(1), 85–91.
- Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E., & Etchevers Barra, J. D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 367–382.
- Figuroa, B. J. L., & Trochez, W. A. M. (2022). *Tolerancia de seis cultivares de tomate (Solanum spp) a Ralstonia solanacearum [Smith (1896) Yabuuchi et al., 1996], en el Centro Experimental El Plantel, Masaya, 2020*.

- Flores-Pacheco, J. A., Murillo, Y., Oporta, R., Pacheco, C. F., & Alemán, Y. (2016). Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum*) y chiltoma (*Capsicum annuum*) con sustratos inertes. *Revista Científica Estelí*, 20, 73–81.
- Flórez, J. C. R., López, N. M., & Beltrán, D. M. (2010). Utilización de la corteza de pino caribe (*Pinus caribaea*) como sustrato en cultivos de clavel hidropónico. *Tumbaga*, 1(5), 9–25.
- Grez, R., & Gerding, V. (1995). Corteza, desecho reciclable de la industria forestal como formador de sustratos para la producción vegetal. *Bosque*, 16(1), 105–114.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-hill México.
- Jackson, B. E. (2008). *Chemical, physical, and biological factors influencing nutrient availability and plant growth in a pine tree substrate*.
- Jaramillo, J., Rodríguez, V. P., Guzmán, M., Zapata, M., Rengifo Martínez, T., & Seguridad, G. de A. C. G. (2007). *Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas*.
- Jerez, Z. (2007). Comparación del sustrato de fibra de coco con los sustratos de corteza de pino compostada, perlita y vermiculita en la producción de plantas de *Eucalyptus globulus* (Labill).[monografía]. *Valdivia (CHL): Facultad de Ciencias Forestales-Universidad Austral de Chile*.
- Lagunes-Fortiz, E., Villanueva-Verduzco, C., Lagunes-Fortiz, E. R., Zamora-Macorra, E. J., Ávila-Alistac, N., & Villanueva-Sánchez, E. (2021). La densidad de siembra en el crecimiento de la verdolaga. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(2), 317–329.
- Li, S., & Tasnady, D. (2023). Biochar for soil carbon sequestration: Current knowledge, mechanisms, and future perspectives. *C*, 9(3), 67.
- López-Pérez, L., Cárdenas-Navarro, R., Lobit, P., Martínez-Castro, O., & Escalante-Linares, O. (2005). Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(2), 171.

- López, J. C. H. (2012). *Estudio del Desarrollo Radical del Cultivo del Trigo (Triticumaestivum L.var. Triunfo F2004) Aplicado Ácido Salicíco Vía foliar*. 123. http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/1090/Hernandez_Lopez_JC_MC_Hidro
- López, J., Torres, N., Saldivar, R., Reyes, I., & Argüello, B. (2016). Técnicas Para Evaluar Germinación, Vigor y Calidad Fisiológica de Semillas Sometidas a Dosis de Nanopartículas. *Centro de Investigación En Iquímica Aplicada (CIBQ)*, 129–140.
- López Marín, L. M. (2017). *Manual técnico del cultivo del tomate Solanum lycopersicum*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria
- Madziwa, M. (2014). *Effects of pine bark amended with goat manure as tomato (Solanum lycopersicon L) seedlings growing media using the float system*.
- Mairena Alemán, L. C., & Maradiaga Sánchez, K. R. (2009). *Efecto de diferentes sustratos y volúmenes en la producción de plántulas de tomate (Solanum lycopersicum) utilizando la técnica de doble trasplante de junio agosto 2009, CNRA, Área de abonos orgánicos del Campus Agropecuario, UNAN-León*.
- Marín Fernández, V., Gómez Martínez, J., & Herrera Fuentes, E. F. (2016). Comportamiento agronómico de 12 cultivares de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill), Tisma, Masaya, Nicaragua. *La Calera*, 16(27), 53–60.
- Mendoza Hidalgo, M. J., Naranjo Riofrio, C. A., & Fajardo Pruna, M. (2022). *Diseño de una trituradora y clasificadora de corteza de pino para producción de sustrato para cultivo*. ESPOL. FIMCP.
- Muguirra, A. (2017). *Tipos de muestreo: Cuáles son y en qué consisten*. *QuestionPro*.
- Naula Arteaga, P. E., & Villamagua, M. Á. (2006). *Respuesta del tomate riñón (lycopersicum esculentum) bajo invernadero al mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo mediante la aplicación de abonos orgánicos y carbón vegetal, barrio Masacacantón Loja*.
- NEto, E. Be., & BarrEto, Le. P. (2012). As técnicas de hidroponia. *Anais Da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, 8, 107–137.

- Ortega-Martínez, L. D., Sánchez-Olarte, J., Díaz-Ruiz, R., & Ocampo-Mendoza, J. (2010). Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Ra Ximhai*, 6(3), 365–372.
- Ortega Martínez, L. D., Martínez Valenzuela, C., Ocampo Mendoza, J., Sandoval Castro, E., & Pérez Armendáriz, B. (2016). Efficiency of substrates in soil and hydroponic system for greenhouse tomato production. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 643–653.
- PELLECER, L. E. O. (2022). *FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN RIEGOS*.
- Quesada Roldán, G., & Marin Thiele, F. (2014). *Una metodología para la evaluación de sustratos para agricultura protegida*. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. <http://www.mag.go.cr>
- Quintero, M. F., González, C. A., & Guzmán, J. M. (2011). Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. *Flórez R., VJ (Ed). Sustratos, Manejo Del Clima, Automatización y Control En Sistemas de Cultivo Sin Suelo. Universidad Nacional de Bogotá. Colombia. Pp, 79–108.*
- RAMIREZ, E. R. G., GOMEZ, E. H., GOMEZ, R. C., MADRIGAL, R. Q., CANTU, D. H. N., & RUIZ, L. D. F. (2010). *Manejo integrado de las principales plagas y enfermedades del jitomate en Chiapas*.
- Rodríguez, R. d, Lara, A., Lozano, J., Padilla, L., Avelar, J., & Castañeda, R. (2016). Rendimiento y calidad de tomate en sistemas hidropónicos abierto y cerrado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Mo, 17, 3436–3452.*
- Rodríguez, S. G., Castorena, M. del C. G., Botello, M. A. E., & Hernández, R. S. (2021). Características micromorfológicas de sustratos orgánicos y su relación con retención de agua y crecimiento radical. *Agrociencia*, 55(3), 195–208.
- Sáez, J. N. P. (1999). Utilización de sustratos en viveros. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 231–235.
- Silva Valqui, G., Sanchez Santillan, T., Chavez Quintana, S. G., Chichipe Oyarce, J., & Oliva

- Cruz, S. M. (2021). Influencia de sustratos en el crecimiento y desarrollo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cultivado bajo un sistema hidropónico en invernadero. *Revista de La Universidad Del Zulia*, 12(32), 317–329. <https://doi.org/10.46925//rdluz.32.19>
- Solís Fong, E. R. (2019). *Evaluación de Rendimiento y Calidad Orgnaoléptica de 5 Cultivares de Tomate (Solanum lycopersicum) para pasta, en dos localidades en el Departamento de Chiquimula 2019.*
- Soto Avendaño, A. R. (2014). *Sistema de producción de plantines en hortalizas.*
- Soto Pretel, C. F. (2024). *Efecto de la granulometría del sustrato en la remoción de contaminantes en humedales de flujo sub superficial horizontal, planta de tratamiento de aguas residuales “La Titora”-Ayacucho 2023.*
- Torres, O. G. V., Patiño, M. L. D., Pérez, M. A., Rodríguez, M. A., Nava, H. S., Rangel, M. G. M., Cortés, M. A., Carpintero, C. C., & Salazar, M. del C. M. (2017). *Sustrato como material de última generación.* OmniaScience.
- Wilkerson, D. C. (1981). *Some physical and chemical properties of pine bark growing medium used as an evaluation of its nutritional status.* Louisiana State University and Agricultural & Mechanical College.
- Zulfiqar, F., Moosa, A., Nazir, M. M., Ferrante, A., Ashraf, M., Nafees, M., Chen, J., Darras, A., & Siddique, K. H. M. (2022). Biochar: An emerging recipe for designing sustainable horticulture under climate change scenarios. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1018646.



¡Universidad del Pueblo y para el Pueblo!



