



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS



CARRERA DE AGRONOMÍA

**Evaluación de fórmulas de sustratos alternativos en la germinación de
semillas de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*)**

**DOCUMENTO FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN COMO REQUISITO
PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

AUTOR:

Altamirano Núñez Christian Rodrigo

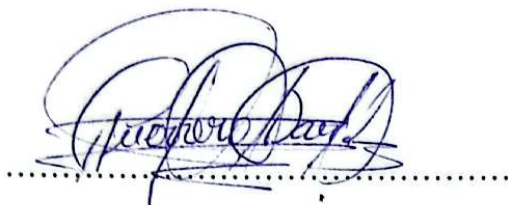
TUTOR:

Ing. David Aníbal Guerrero Cando, Mg.

CEVALLOS, 2024

**Evaluación de fórmulas de sustratos alternativos en la germinación de semillas de
brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*)**

REVISADO POR:

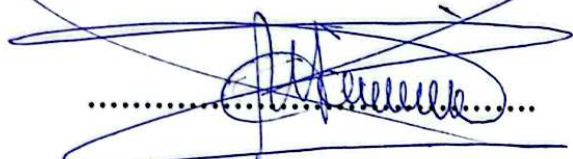


Ing. Mg. Guerrero Cando David Aníbal

TUTOR

APROBADO POR LOS MIEMBROS DE CALIFICACIÓN

Fecha



Ing. Patricio Núñez Torres, PhD.

PRESIDENTE DE TRIBUNAL

30/07/2024



Ing. Curay Quispe Segundo Euclides, PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN

30/07/2024



Ing. Pomboza Tamaquiza Pedro Pablo, PhD

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN

30/07/2024

AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN

El suscrito, **CHRISTIAN RODRIGO ALTAMIRANO NÚÑEZ**, portador de cédula de ciudadanía número: **1850118504**, libre y voluntariamente declaro que el Informe Final del Proyecto de investigación titulado: “**Evaluación de fórmulas de sustratos alternativos en la germinación de semillas de brócoli (*Brassica oleracea var. italica*)**” es original, auténtico y personal. En tal virtud, declaro que el contenido es de mi sola responsabilidad legal y académica, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas.



CHRISTIAN RODRIGO ALTAMIRANO NÚÑEZ

DERECHO DE AUTOR

Al presentar este Informe Final del Proyecto de Investigación titulado “**Evaluación de fórmulas de sustratos alternativos en la germinación de semillas de brócoli (*Brassica oleracea var. italica*)**” como uno de los requisitos previos para la obtención del título de grado de Ingeniero Agrónomo, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, autorizo a la Biblioteca de la Facultad, para que este documento esté disponible para su lectura, según las normas de la Universidad.

Estoy de acuerdo en que se realice cualquier copia de este Informe Final, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial.

Sin perjuicio de ejercer mi derecho de autor, autorizo a la Universidad Técnica de Ambato la publicación de este Informe Final, o de parte de él.



CHRISTIAN RODRIGO ALTAMIRANO NÚÑEZ

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado principalmente para Dios y mi patrono San José, quien me ha dado las fuerzas y muchas bendiciones para poder culminar la carrera.

A mi querido e inolvidable padre, el Sr. Rodrigo Altamirano quien descansa en paz junto con la gloria de Dios, y antes de su partida siempre estuvo pendiente de mí con sus consejos, motivaciones para poder seguir adelante, la cual ha sido mi motivación e inspiración para poder superarme día a día.

A mi hermosa madre, la Sra. Hilda Núñez quien es el pilar fundamental de mi vida, siempre ha estado a mi lado motivándome para ser una buena persona.

A mi hermano Galo Altamirano quien ha estado siempre a mi lado a pesar de todo, dándome consejos y apoyándome en todo momento para poder cumplir todos mis sueños.

A mis amigos Israel, Elizabeth, Luis, Ismael. Gracias por todo su apoyo y nunca dejarme solo, muchas gracias por todos los momentos buenos y malos que se ha compartido durante la carrera.

Christian Altamirano Núñez

AGRADECIMIENTO

Al culminar este trabajo quiero agradecer primeramente a Dios por todas las bendiciones y fuerzas que me ha dado para poder culminar la carrera, muchas gracias por la vida y la salud que nos regala cada día, así como también la sabiduría para poder tomar buenas decisiones en nuestro futuro.

Agradezco a mis queridos padres nuevamente ya que siempre fueron un apoyo y pilares fundamentales durante toda mi educación, tanto personal como académica. Gracias por todos sus consejos, enseñanzas y valores para poder salir adelante con todas las metas propuestas.

Agradezco a mi tutor Ing. David Guerrero por brindarme sus conocimientos para poder terminar con mi proyecto de tesis

Agradecido con la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Agronomía por haberme brindado la oportunidad de formarme como profesional. Gracias a todos los docentes quienes nos compartieron sus conocimientos, así como también experiencias que nos servirán en la vida profesional.

Christian Altamirano Núñez

ÍNDICE GENERAL

AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHO DE AUTOR	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I.....	13
INTRODUCCIÓN.....	13
MARCO TEÓRICO	15
1.2. <i>Categorías fundamentales</i>	17
1.2.1. <i>Asociación Azolla-anabaena</i>	17
1.2.2. <i>Sustratos usados en la agricultura</i>	17
1.2.3. <i>El uso de Azolla en la agricultura</i>	18
1.2.4. <i>Turba rubia de Sphagnum</i>	18
1.2.5. <i>Zeolita</i>	19
1.2.6. <i>Ácidos húmicos</i>	20
1.2.7. <i>Brócoli</i>	21
1.2.8. <i>Taxonomía</i>	22
1.3. <i>Objetivos</i>	22
Objetivo general:	23
Objetivos específicos:	23
CAPÍTULO II.....	23
METODOLOGÍA.....	23
2.1. <i>Ubicación del estudio</i>	23
2.2. <i>Tipo de investigación</i>	24
2.3. <i>Materiales y equipos</i>	24
2.4. <i>Variables</i>	25
2.5. <i>Factores en estudio:</i>	25
2.6. <i>Distribución del ensayo</i>	26

2.7.	<i>Hipótesis de investigación</i>	26
2.8.	<i>Manejo del ensayo</i>	26
2.8.1.	<i>Obtención y procesamiento de Azolla</i>	26
2.8.2.	<i>Obtención de la semilla de brócoli</i>	27
2.8.3.	<i>Adecuaciones dentro del invernadero</i>	27
2.8.4.	<i>Siembra</i>	27
2.8.5.	<i>Riegos</i>	27
2.8.6.	<i>Controles fitosanitarios</i>	27
2.9.	<i>Variables respuesta</i>	28
2.9.1.	<i>Porcentaje de germinación</i>	28
2.9.2.	<i>Altura de la plántula</i>	28
2.9.3.	<i>Porcentaje de hojas por plántula</i>	28
2.9.4.	<i>Volumen radicular</i>	28
2.9.5.	<i>Porcentaje de plantas útiles</i>	28
2.10.	<i>Análisis de la información</i>	28
CAPÍTULO III		29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		28
CAPÍTULO IV		39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		39
4.1.	<i>CONCLUSIONES</i>	39
4.2.	<i>RECOMENDACIONES</i>	39
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		40
ANEXOS		44
1.	Análisis estadístico.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.	ADEVA.....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.	Prueba de medias.....	¡Error! Marcador no definido.
1.3.	Resumen de estadísticos.....	¡Error! Marcador no definido.
2.	Fotografías del ensayo.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición y características el sustrato a base de turba de Sphagnum	19
Tabla 2. Costos de producción del sustrato 1 compuesto por Azolla 70% + zeolita 30 %	36
Tabla 3. Costos de producción del sustrato compuesto por Azolla 69.5% + zeolita 29.5 % + ácidos húmicos 1.0 %	36
Tabla 4. Costos de producción del sustrato 3 compuesto por Azolla 69 % +Zeolita 29 % + ácidos húmicos 2.0 %	37
Tabla 5. Costos de producción del sustrato 4 compuesto por Azolla 68.5 % + zeolita 28.5 % + ácidos húmicos 3.0 %.....	37
Tabla 6. Costos de producción del sustrato 5 compuesto por turba de Sphagnum	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Principales países productores de brócoli durante el 2022</i>	22
Figura 2. Ubicación del lugar del ensayo	24
Figura 3. <i>Altura de plantas de brócoli medida a los 15 y 30 días después de la germinación de la semilla en diferentes sustratos</i>	29
Figura 4. Altura de plantas de brócoli medida a los 30 días después de la germinación de la semilla en diferentes sustratos	30
Figura 5. Número de hojas por planta de brócoli obtenidas de semillas germinadas en diferentes sustratos	31
Figura 6. Volumen de la raíz en plantas de brócoli obtenidas de semillas germinadas en diferentes sustratos	32
Figura 7. Porcentaje de plantas útiles de brócoli obtenidas a partir de semillas germinadas en diferentes tipos de sustratos	33
Figura 8. Porcentaje de germinación obtenido a partir de semillas germinadas en diferentes tipos de sustratos.....	34
Figura 9. Cuidado de la Azolla anabaena en los estanques	52
Figura 10. Recolección de la Azolla anabaena.....	52
Figura 11. Adaptación de la Azolla anabaena dentro del invernadero	53
Figura 12. Recolección de la Azolla anabaena después de 21 días de secado	53
Figura 13. Tituración con la ayuda de un molino.....	54
Figura 14. Pesaje de cada uno de los sustratos	54
Figura 15. Mezcla de los sustratos	54
Figura 16. Siembra en los semilleros	55
Figura 17. Adaptación dentro del invernadero	55
Figura 18. Recolección de datos de germinación después de 10 días de la siembra.....	56
Figura 19. Recolección de datos de altura de planta después de los 15 días de la siembra	56
Figura 20. Recolección de datos de altura y de hojas por plántula a los 30 días	56
Figura 21. Toma de datos sobre volumen radicular de las plántulas	57

RESUMEN

La sanidad de las semillas es un factor de vital importancia para una producción agrícola exitosa para evitar la diseminación de diferentes agentes patógenos. Así mismo, la supresividad del suelo es muy importante para ayudar la germinación de las semillas es necesario tener una gran cantidad de microorganismos benéficos. Por ello, el uso de un buen sustrato es uno de los puntos clave para asegurar la obtención de plántulas sanas y vigorosas. En tal sentido, en la presente investigación se evaluaron diferentes fórmulas de sustratos para la germinación de semillas de brócoli donde se evaluaron diferentes porcentajes de *Azolla* enriquecido con zeolita y ácidos húmicos sobre la altura de planta, porcentaje de germinación, hojas por planta, volumen de la raíz y porcentaje de plantas útiles. Se usaron las siguientes proporciones: S1 (*Azolla* 70% + zeolita 30 %), S2 (*Azolla* 69.5% + zeolita 29.5 % + ácidos húmicos 1.0%), S3 (*Azolla* 69% + zeolita 29 % + ácidos húmicos 2 %), S4 (*Azolla* 68.5% + zeolita 28.5 % + ácidos húmicos 3.0%) y se comparó con un sustrato comercial, S5 a base de turba de *Sphagnum*. Se observó el efecto de los diferentes sustratos donde se observaron diferencias significativas entre ellos. La mayor altura de planta fue obtenida con el sustrato compuesto por 68.5% de *Azolla*, 28.5% de zeolita y 3.0% de ácidos húmicos, con el que las plantas alcanzaron 2.52 cm y 3.2 cm a los 15 y 30 días, respectivamente. Así mismo, el número de hojas por planta (3.13 hojas), volumen de la raíz (0.45 ml), porcentaje de germinación (95.70%) y plantas útiles (92.67%) fue observada con el mismo sustrato, cuyos valores fueron significativamente iguales al obtenido con el sustrato comercial. Aunque los costos para la obtención de los diferentes sustratos no mostraron diferencias importantes se sugiere el uso de sustratos a base de *Azolla* enriquecido con zeolita y ácidos húmicos, debido a que son productos de fácil disponibilidad en la zona.

Palabras clave: *Azolla*, germinación, producción hortícola, sustratos enriquecidos

ABSTRACT

Seed health is a vital factor for successful agricultural production to prevent the spread of different pathogens. Likewise, soil suppression is very important to help seed germination, and it is necessary to have a large number of beneficial microorganisms. Therefore, the use of a good substrate is one of the key points to ensure healthy and vigorous seedlings. In this sense, in the present research, different substrate formulas for broccoli seed germination were evaluated, where different percentages of *Azolla* enriched with zeolite and humic acids were evaluated on plant height, germination percentage, leaves per plant, root volume and percentage of useful plants. The following proportions were used: S1 (*Azolla* 70% + zeolite 30%), S2 (*Azolla* 69.5% + zeolite 29.5 % + humic acids 1.0%), S3 (*Azolla* 69% + zeolite 29 % + humic acids 2%), S4 (*Azolla* 68.5% + zeolite 28.5 % + humic acids 3.0%) and it was compared with a commercial substrate, S5 based on Sphagnum peat. The effect of the different substrates was observed where significant differences were observed between them. The greatest plant height was obtained with the substrate composed of 68.5% *Azolla*, 28.5% zeolite and 3.0% humic acids, with which the plants reached 2.52 cm and 3.2 cm at 15 and 30 days, respectively. Likewise, the number of leaves per plant (3.13 leaves), root volume (0.45 ml), germination percentage (95.70%) and useful plants (92.67%) were observed with the same substrate, whose values were significantly equal to those obtained with the commercial substrate. Although the costs for obtaining the different substrates did not show significant differences, the use of substrates based on *Azolla* enriched with zeolite and humic acids is suggested, since these are products that are easily available in the area.

Keywords: *Azolla*, germination, horticultural production, enriched substrates

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El cultivo de *Brassica oleracea* ha dado lugar a muchos tipos morfológicos diversos, como la coliflor, el brócoli, el repollo, las coles de Bruselas, el colinabo y la col rizada, los cuales se han convertido en cultivos hortícolas de importancia económica (Żyła et al., 2021).

En general, la alta demanda de estos cultivos en los diferentes mercados agrícolas ha impuesto la necesidad de mejorar la calidad de las semillas, promover una germinación más temprana, aumentar el vigor de las plantas y aumentar el rendimiento general de los cultivos. Así, dentro del proceso de germinación, que se inicia con la absorción de agua y culmina con la aparición del embrión, el tiempo medio de germinación es considerado como un parámetro fundamental para describir la tasa de germinación (Gutiérrez et al., 2024).

La sanidad de las semillas es un factor de vital importancia para una producción agrícola exitosa, puesto que la acción de diferentes agentes patógenos presentes en el suelo puede afectar la germinación y/o transmitir la infección a las plántulas y plantas en crecimiento (Cardoso et al., 2015; Hamim et al., 2014). Los diferentes patógenos transmitidos por el suelo a las semillas de hortalizas son de difícil control debido a que sus síntomas no son evidentes en el semillero o almacigo. Es por ello que entre las medidas para asegurar una mayor salud de semillas se incluyen el tratamiento de semillas con fungicidas protectores y el uso de sustratos que proporcionen alta porosidad, que controle la humedad haciendo un mejor control de los patógenos, lo que contribuyan a una buena germinación, desarrollo y sanidad (Gupta y Kumar, 2020).

Muchos autores creen que además del agua y la duración del fotoperiodo, la temperatura, un factor muy importante que incide en la germinación de las semillas es el sustrato (Dos Santos y De Castilho, 2018; Krstić et al., 2022). El sustrato usado en la siembra es crucial para el crecimiento del sistema radicular y la germinación de las semillas, puesto que, a través de ello, las plantas podrán tener una absorción óptima de nutrientes (Vergara, 2023).

Ante la necesidad de obtener plántulas de hortalizas de calidad se requiere de un sustrato adecuado que permitan hacer un uso racional de los agroquímicos para evitar la contaminación del suelo con altos niveles de productividad (Velástegui-Espín et al., 2018). En tal sentido, resalta la necesidad de promover la práctica de la elaboración y uso de sustratos adecuados para la germinación de semillas a un menor costo y utilizando insumos naturales.

Actualmente existe varios sustratos que ofrecen características físicas ideales tales como aireación y capacidad de retención de agua, además de un buen contenido de nutrientes esenciales para favorecer el desarrollo de las plantas, lo que, en conjunto, contribuyen a la germinación de las semillas (Schafer y Lerner, 2022).

En consideración con lo expuesto, en la presente investigación se elaboró un sustrato a base de *Azolla anabaena* enriquecido con diferentes porcentajes de zeolita o ácidos húmicos y evaluar su efecto sobre la tasa de germinación de semillas de brócoli con el fin de contribuir a la generación de una innovación tecnológica y a disminuir la dependencia de insumos importados para la producción agrícola en Ecuador.

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

De acuerdo con Marzouk et al. (2023), el uso de *Azolla* ha despertado el interés en la agricultura debido a su capacidad para compensar los requerimientos de nitrógeno en cultivos, puesto que, esta ha mostrado tener un impacto positivo en la producción de arroz de tierras bajas, incluida la mejora de la fertilidad del suelo, la minimización de las malezas, el aumento del carbono orgánico del suelo, la mejora de la biomasa microbiana y mejora el crecimiento y el rendimiento del arroz. Sin embargo, los productores de arroz no muestran una clara aceptación de su uso y, en consecuencia, dependen de altas cantidades de fertilizantes nitrogenados sintéticos. Así mismo, el uso de *Azolla* como abono verde incorporado antes del trasplante de arroz o cultivado junto con el arroz ahorró el requerimiento de nitrógeno del arroz hasta 60 kg. N/ha. Además, mejora la disponibilidad de nutrientes, las propiedades fisicoquímicas de los suelos, minimiza la salinidad del suelo, reduce el pH del suelo y minimiza la germinación de malezas. Sin embargo, el uso de *Azolla* puede llegar a requerir mucha mano de obra, lo cual es una limitante para su uso en la agricultura (Marzouk et al., 2023),

La *Azolla* es un helecho flotante conocido por sus diversas actividades biológicas, entre los cuales se incluyen a *Azolla caroliniana* y *Azolla filiculoides* debido a su actividad biológica que las hace beneficiosas para diversas aplicaciones. Al respecto, (Rahman et al., 2023) realizaron un estudio con el fin comparar la composición fitoquímica y las actividades antimicrobianas, antioxidantes, antiinflamatorias y citotóxicas de *Azolla caroliniana* y *Azolla filiculoides*. Los extractos metanólicos de *A. caroliniana* y *A. filiculoides* exhibieron actividad antimicrobiana moderada contra *Geotrichum candidum*, *Enterococcus faecalis* y *Klebsiella pneumonia*. Además, los extractos metanólicos de *A. caroliniana* mostraron una mayor citotoxicidad contra las células HepG2 que *A. filiculoides*. Estos hallazgos sugieren que los extractos metanólicos de *A. caroliniana* y *A. filiculoides* contienen compuestos distintos y muestran potencial para el control de patógenos, por lo que podrían ser usados como sustratos para la germinación de semillas.

También, Intana et al. (2023) desarrollaron un estudio que tuvo como objetivos (i) evaluar la viabilidad de utilizar *Azolla* como medio de cultivo de melones con una reducción en la concentración de fertirrigación en un sistema de cultivo sin suelo, y (ii) comparar las características agronómicas y de calidad de la fruta de melones cultivados en diferentes tratamientos de *Azolla*. Los resultados demostraron diferencias en las características agronómicas y rendimiento del melón bajo diferentes tratamientos con *Azolla*. Los resultados del análisis de nutrientes mostraron que la *Azolla* fresca (T4) y fermentada (T3) tenía un alto valor nutricional en comparación con la *Azolla* seca (T2). La mayoría de las características de los frutos de melón tratados con *Azolla* fermentada y fresca con menor cantidad de fertilizante no mostraron diferencias significativas en comparación con el control, por lo tanto, estos tratamientos fueron recomendados para la producción de melón en un sistema de cultivo sin suelo, ya que estos tratamientos pueden reducir el uso de fertirrigación en un 25% manteniendo el crecimiento y la calidad de la fruta en comparación con la práctica convencional.

Por otra parte, Shedeed y Farahat (2023) estudiaron el uso potencial de *Azolla pinnata* fresca para disminuir los efectos tóxicos del Cd y Co en la germinación de semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.) y la bioquímica de plántulas, para lo cual utilizaron soluciones de 80 y 100 mg/L de CdNO₃ y CoCl₂ antes y después del tratamiento con *A. pinnata*. La mayor eficiencia de remoción por *A. pinnata* fue observada al quinto día, alcanzando un 55.9 y 49.9% de remoción de Cd cuando se usó 80 y 100 mg/L de solución, respectivamente. Las soluciones de cadmio y cobalto redujeron el porcentaje de germinación y aumentaron la fitotoxicidad de la radícula. Mientras que, la presencia de *A. pinnata* en el medio de germinación aumentó la germinación y disminuyó la fitotoxicidad de la radícula. Después de 21 días de cultivo, el uso de soluciones a concentraciones de 80 y 100 mg/L provocó reducción significativa de la biomasa fresca y seca, y la altura de las plántulas de trigo por efecto del Cd. Además, tanto el cadmio como las altas concentraciones de cobalto provocaron el aumento de los contenidos de H₂O₂, prolina, compuestos fenólicos y flavonoides. Por lo contrario, la combinación del Cd y Co con *A. pinnata* mostró una disminución en los niveles de H₂O₂, prolina, compuestos fenólicos y flavonoides acompañado de una reducción en las actividades de catalasa y peroxidasa en comparación con el control, lo que demostró el papel positivo de *A. pinnata* en la disminución de los impactos de los metales, particularmente el Cd, en el crecimiento de las plántulas de trigo y su germinación.

1.2. Categorías fundamentales

1.2.1. Asociación *Azolla-anabaena*

El género *Azolla* pertenece a la familia Salviniaceae dentro de la división Pteridophyta, e incluye dos subgéneros y seis especies; el subgénero *Euazolla*, caracterizado por presentar tres megasporas flotantes y gloquidios septados y está representado por cuatro especies (*A. filiculoides* Lain., *A. caroliniana* WiUd., *A. microphylla* Kaulf. y *A. mexicana* Presl), mientras que el subgénero *Rhizosperma*, que es caracterizado por la presencia de nueve megasporas flotantes e incluye dos especies (*A. pinnata* R. Br., con gloquidios simples y *A. nilotica* Decne., sin gloquidios) (Roy et al., 2016).

Azolla es un género de helecho acuático flotante que forma una simbiosis especial con la cianobacteria *Anabaena Azollae*, que es esencial para el crecimiento y la supervivencia de *Azolla*, ya que la cianobacteria proporciona nitrógeno a la planta, mientras que la planta proporciona un ambiente protegido y nutrientes a la cianobacteria, lo que permite que *Azolla* prospere en ambientes pobres en nutrientes y se convierta en una valiosa fuente de alimento y abono para diversas aplicaciones agrícolas y ambientales (Roy et al., 2016).

1.2.2. Sustratos usados en la agricultura

Los sustratos están siendo ampliamente usados debido a que, por un lado, están casi completamente libres de plagas y pueden desinfectarse fácilmente entre ciclos de crecimiento en caso de contaminación, además, permiten un control relativamente fácil sobre el pH y el estado nutricional de la zona de la raíz y, por otro lado, proporciona óptimos niveles de oxígeno y agua a las raíces debido a que el potencial mátrico es menor, por lo que, las plantas requieren menos energía para extraer agua y experimentan un menor riesgo de deficiencia de oxígeno, traduciéndose en mayor rendimiento del cultivo (Raviv et al., 2002).

Como consecuencia de la escasez de suelos fértiles, la presencia de patógenos y la necesidad de ofrecer condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas, el uso de sustratos está teniendo cada vez más aceptación entre los agricultores a nivel mundial (Raviv et al., 2002).

1.2.3. El uso de *Azolla* en la agricultura

El helecho flotante del género *Azolla* establece una simbiosis con una cianobacteria, por lo que resulta en una fuente de nitrógeno y beneficios adicionales como la reducción de la evaporación y la competencia con las malezas acuáticas.

Desde el punto de vista de su composición química, *Azolla pinnata* usada como material fresco presentó un contenido de materia seca y orgánica de 90.20 y 79.60%, respectivamente, mientras que el contenido de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno fue 23.5, 3.1, 12.5 y 40.6%, respectivamente. El perfil mineral indicó contenidos de calcio y fósforo de 1.7; 0.47 %, lo que permitió concluir que *Azolla pinnata* es una fuente rica en proteína cruda, oligoelementos y vitaminas (Sharma et al., 2020).

En el cultivo de arroz, *Azolla* ha sido usado mezclado con el suelo antes del trasplante o en asociación con el cultivo con el fin de aumentar la eficacia de la aplicación de fertilizantes nitrogenados. También se usa como biofertilizante y abono verde, alimentación de animales (rumiantes y no rumiantes) y humanos, como antibiótico, purificador de agua, para la generación de biogás, sin embargo, su uso en la agricultura es limitado por su susceptibilidad a las altas temperaturas y la intensidad de la luz, así como a las condiciones de la producción agrícola (Verma et al., 2022).

1.2.4. Turba rubia de *Sphagnum*

La turba de *Sphagnum* es el resultado de la descomposición de varios musgos principalmente de la especie *Sphagnum magellanicum* Brid. y otras plantas, la cual presenta una estructura fina, donde se elimina la fibra y partes gruesas mediante técnicas especiales de cribado (Domínguez et al., 2017).

La fibra de *Sphagnum* es una materia prima indispensable para numerosos productos de gran demanda a nivel mundial a pesar de que existen otras alternativas a la turba, debido a que sus propiedades físicas e hidráulicas son claramente superiores a la de los suelos minerales, con menor densidad aparente y con una mayor disponibilidad de porosidad llena de aire y el agua (Caron et al., 2015).

El *Sphagnum* no descompuesto se utiliza para la propagación de orquídeas, como material de embalaje (por ejemplo, para peces y orquídeas), para productos especializados como macetas biodegradables, para paredes verdes o jardinería en tejados, y como material de “semilla” para la restauración de turberas y debido a su alta demanda es necesario desarrollar nuevas técnicas de producción de este tipo de sustrato (Glatzel y Rochefort, 2017).

Sin embargo, dada el riesgo potencial de extinción de *Sphagnum*, se requieren estudios sobre su biología, propagación y el cultivo hasta la ingeniería de irrigación, la economía para desarrollar una agroindustria a gran escala basada en *Sphagnum*.

De acuerdo con el fabricante, el sustrato a base de turba de *Sphagnum* tiene la siguiente composición y características (Tabla 1).

Tabla 1

Composición y características el sustrato a base de turba de Sphagnum

Característica	Valores
Carbonato cálcico	5 g/L
Fertilizante NPK y microelementos	1.0 g/L
Densidad aparente seca	100 g/l
Materia orgánica sobre materia seca	90 %
Conductividad eléctrica (CE) (UNE-EN13038	35 mS/m
pH (UNE-EN13037):	5.5-6.5
Volumen a envasar	210 L
Estructura:	Fina/Media
Sustrato de cultivo de clase	A

Empleo recomendado: cultivo y siembra de planta joven y plantas sensibles a las sales. No se necesitan requerimientos especiales para su uso.

1.2.5. Zeolita

La zeolita es un aluminosilicato hidratado poroso con una estructura tridimensional con cationes alcalinos (sodio, potasio), alcalinotérreos (calcio, magnesio) y que exhibe propiedades características de materiales nanoporosos con capacidad de perder y absorber agua en cantidades superiores al 30% de su peso seco (Kordala y Wyszowski, 2024).

A nivel mundial, las zeolitas naturales son principalmente usadas por el sector agrícola como un aditivo para el suelo, debido a su papel en la mejora de las propiedades físicas debido a la presencia de poros grandes que confiere mayor retención de agua, aumentando la eficiencia en el uso del agua (Mondal et al., 2021). En un estudio realizado por Xiubin y Zhanbin (2001) demostraron que la eficiencia en el uso del agua en un suelo tratado con zeolita aumentó entre un 0.4 y 1.8% en condiciones de sequía y entre un 5 y 15% en condiciones normales en comparación con el suelo de control. Esta mejora se debió a que la zeolita puede reducir la escorrentía superficial y proteger el suelo de la erosión, así como regular el suministro de agua de los cultivos en condiciones de sequía severa, mejorar la conductividad hidráulica, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la capacidad de retención de agua y la aireación.

De acuerdo con Kordala y Wyszowski (2024), la composición de la zeolita consiste en:

- Silicio (Si): Forma parte de los tetraedros de silicato en su estructura y es esencial para su estructura cristalina.
- Aluminio (Al): También forma parte de los tetraedros de aluminosilicato y contribuye a la red tridimensional de la zeolita.
- Oxígeno (O): Une los átomos de silicio y aluminio en los tetraedros para formar la estructura del mineral.
- También puede contener otros cationes, como sodio (Na^+), calcio (Ca^{2+}), potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}) y otros, que ocupan los sitios intersticiales de su estructura cristalina.

1.2.6. Ácidos húmicos

Los ácidos húmicos son moléculas orgánicas que desempeñan funciones esenciales en la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, tales como textura, estructura, capacidad de retención de agua, capacidad de intercambio catiónico, pH, contenido de carbono, enzimas, ciclo del nitrógeno y la disponibilidad de nutrientes del suelo, lo que afecta positivamente el crecimiento de las plantas y los parámetros agronómicos de los cultivos (Ampong et al., 2022).

Adorada et al. (2023) evaluaron la bioeficacia en campo de Enersol® LDG, un fertilizante mineral que contiene leonardita y ácido húmico sobre el crecimiento y rendimiento de pechay (*Brassica rapa*) en Filipinas y demostraron que la combinación de Enersol y el fertilizante inorgánico aumentó significativamente el rendimiento total fresco de pechay. Con base en estos hallazgos, se concluyó que el uso combinado de Enersol con fertilizantes inorgánicos mejora el crecimiento y el rendimiento de pechay. Sin embargo, se requieren más investigaciones para evaluar los métodos óptimos de dosificación y aplicación para maximizar la producción de pechay.

Enersol LDG se puede mezclar uniformemente con fertilizantes para una distribución uniforme en el campo cuando se aplica al voleo, se coloca en el surco; cada aplicación proporciona una poderosa dosis de ácido fúlvico húmico al 70% que ha demostrado aumentar el rendimiento del cultivo en más del 10% ((Adorada et al., 2023).

1.2.7. Brócoli

El brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) es una planta bienal perteneciente a la familia Brassicaceae que, junto con el repollo, la coliflor, la col rizada, el nabo, la mostaza y las coles de Bruselas, se consume como hortaliza en todo el mundo. Los orígenes del brócoli se remontan a la costa de Europa, aunque de acuerdo con los registros históricos, fueron los romanos y los griegos quienes fomentaron la horticultura hace miles de años y estudiaron variedades de brócoli que se desarrollaron a partir de tipos seleccionados de Italia hace más de 2000 años (Nagraj et al., 2020).

China e India son los principales productores de brócoli con el 36.8 y 36.7% de la producción mundial, seguidos de Estados Unidos, México, España e Italia (Fig. 1).

El consumo del brócoli se ha incrementado debido a sus altos contenidos de fitoquímicos bioactivos, como compuestos fenólicos, glucosinolatos, vitamina C y nutrientes minerales. Además, estudios previos demostraron que el extracto de brócoli puede ejercer efectos beneficiosos contra enfermedades crónicas del sistema cardiovascular y el cáncer (Khalil et al., 2022).

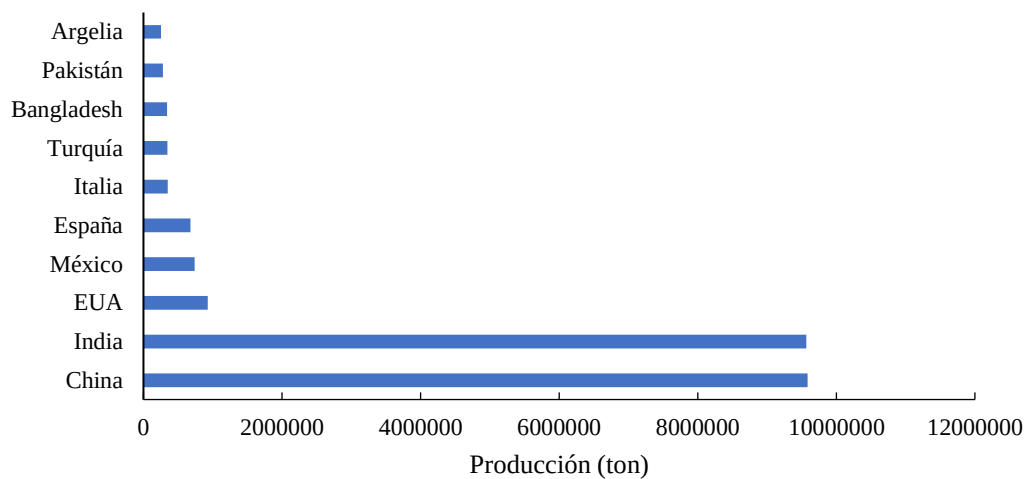


Figura 1

Principales países productores de brócoli durante el 2022

Fuente: (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2024)

1.2.8. Taxonomía

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Brassicales

Familia: Brassicaceae

Género: *Brassica*

Especie: *Brassica oleracea*

Subespecie: *Brassica oleracea* var. *italica* Plenck, 1794

1.3. Objetivos

Objetivo general:

Evaluar diferentes fórmulas de sustratos para la germinación de semillas de brócoli

Objetivos específicos:

- ✓ Establecer protocolos de elaboración de sustratos a base de *Azolla anabaena* enriquecido con zeolita y ácido húmico para la germinación de semillas de brócoli.
- ✓ Cuantificar las características agronómicas de las plantas obtenidas de los sustratos en estudio.
- ✓ Determinar los costos de producción de las plántulas por tratamiento.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación del estudio

La presente investigación se realizó en el Campus Querochaca, Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, ubicado en el Sector El Tambo del

cantón Cevallos, provincia de Tungurahua, ubicada en el cantón Ambato a unos 2.843 msnm (1°12' N; 78°39'O).



Figura 2

Ubicación del lugar del ensayo

Nota: tomado de <https://earth.google.es/>

2.2. Tipo de investigación

De acuerdo con Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), la investigación fue desarrollada con un enfoque experimental, la cual se caracteriza por la aplicación de algún tipo de tratamiento, mediante la manipulación intencional de variable (independiente) y la medición de variables (dependientes), con control y validez.

2.3. Materiales y equipos

Material biológico y sustratos

- ✓ Semillas de Brócoli Variedad Coronado
- ✓ *Azolla anabaena*
- ✓ Zeolita

- ✓ Otros sustratos (turba rubia de *Sphagnum* y ácidos húmicos)

Materiales de campo

- ✓ Envases plásticos
- ✓ Cintas plásticas
- ✓ Bandejas de germinación.
- ✓ Calibrador vernier
- ✓ Probeta
- ✓ Regadera
- ✓ Balanzas
- ✓ Fertilizantes
- ✓ Etiquetas

Materiales de escritorio

- ✓ Computador
- ✓ Esferos, lápices.
- ✓ Marcadores indelebles
- ✓ Cintas fosforescentes
- ✓ Etiquetas impermeables tipo T
- ✓ Libreta de campo

2.4. Variables

- ✓ Variable dependiente: Porcentaje de germinación
- ✓ Variable independiente: sustratos

2.5. Factores en estudio:

- ✓ *Azolla*
- ✓ Zeolita
- ✓ Ácidos húmicos
- ✓ Turba de *Sphagnum*

Tratamientos

Tipo de sustrato	Composición
T1	<i>Azolla</i> 70% + zeolita 30 %
T2	<i>Azolla</i> 69.5% + zeolita 29.5 % + ácidos húmicos 1.0%

T3	<i>Azolla</i> 69% + zeolita 29 % + ácidos húmicos 2 %
T4	<i>Azolla</i> 68.5% + zeolita 28.5 % + ácidos húmicos 3.0%
Testigo	Turba de <i>Sphagnum</i>

2.6. Distribución del ensayo

Bloque I	T4	T1	T3	T2	T5
Bloque II	T3	T5	T4	T1	T2
Bloque III	T1	T4	T2	T5	T3

2.7. Hipótesis de investigación

H₀= El uso de diferentes porcentajes de *Azolla*, zeolita y ácidos húmicos no muestra un efecto sobre la germinación y calidad de las plántulas de brócoli.

H₁= El uso de diferentes porcentajes de *Azolla*, zeolita y ácidos húmicos muestra un efecto sobre la germinación y calidad de las plántulas de brócoli.

2.8. Manejo del ensayo

Los sustratos a base de *Azolla anabaena* fueron preparados a partir de material colectado directamente en los estanques de la propiedad del estudiante, ubicada en la parroquia Constantino Fernández cantón de Ambato, provincia de Tungurahua. Una vez extraído del estanque, *Azolla* fue sometido a secado durante 21 días. De acuerdo con la composición de cada sustrato se usaron las siguientes cantidades: S1= *Azolla* 70% + zeolita 30 %; S2= *Azolla* 69.5% + zeolita 29.5 % + ácidos húmicos 1.0%; S3= *Azolla* 69% + zeolita 29 % + ácidos húmicos 2%; S4= *Azolla* 68% + zeolita 28% + ácidos húmicos 4.0% y S5= Turba de *Sphagnum*. Los cálculos fueron hechos tomando como base un total de 1 kg por cada sustrato.

Tanto la zeolita, el ácido húmico y la turba de *Sphagnum* fueron adquiridos en un almacén agrícola.

2.8.1. Obtención y procesamiento de *Azolla*

La *Azolla anabaena* fue obtenida en los estanques de la propiedad del estudiante, ubicada en la parroquia Constantino Fernández cantón de Ambato, provincia de Tungurahua. Para esto se utilizó una malla (6 m de largo) atada a una soga en cada extremo, la cual fue tirada por dos personas a cada costado de la soga para arrastrar la *Azolla* hacia la orilla, mientras que, una tercera persona con la ayuda de un rastrillo recogió y se ubicó en el borde del estanque.

Después de extraída, la *Azolla* fue secada en un ambiente sombreado donde se extendió sobre costales de yute y fue removida constantemente durante aproximadamente tres semanas. Una vez que estuvo completamente seca, se procedió a triturar, para ajustarla a la granulometría adecuada para utilizarla como sustrato (Sankar et al., 2023).

2.8.2. Obtención de la semilla de brócoli

Las semillas de brócoli fueron obtenidas en un almacén agrícola y fueron sembradas en bandejas germinadoras (25 cm x 25 cm) con 100 alveolos de 2.0 cm de lado por 4 cm de profundidad.

2.8.3. Adecuaciones dentro del invernadero

Dentro del invernadero, se procedió a delimitar el área del estudio, en el cual se distribuyeron las 5 bandejas por tres repeticiones. Una vez preparados los sustratos se procedió a colocar en cada bandeja germinadora, distribuyendo uniformemente.

2.8.4. Siembra

La siembra se efectuó manualmente, colocando una semilla por golpe (alveolo de la bandeja), procediendo a tapar con una fina capa de sustrato.

2.8.5. Riegos

Se aplicaron 1 riegos al día, dependiendo de las condiciones ambientales, mediante la ayuda de una ducha, para aplicar uniformemente.

2.8.6. Controles fitosanitarios

La frecuencia de aplicación se hizo dependiendo de la incidencia de las enfermedades.

2.9. Variables respuesta

2.9.1. Porcentaje de germinación

Después de los 10 días de la siembra se contabilizó el número de plántulas germinadas por bandeja y posteriormente este valor fue expresado en porcentaje.

2.9.2. Altura de la plántula

La altura de planta fue medida con un flexómetro desde el cuello hasta el ápice de la hoja verdadera, tomando la superficie de la bandeja como referencia. Las mediciones fueron hechas en 10 plántulas tomadas al azar de cada tratamiento a los 15-30 días de la siembra.

2.9.3. Porcentaje de hojas por plántula

A los 30 días de la siembra, se registró el número de hojas por plántula tomadas al azar de cada tratamiento.

2.9.4. Volumen radicular

A los 30 días de la siembra, se registró el volumen de la raíz de las 10 plántulas de cada tratamiento mediante el método volumétrico.

2.9.5. Porcentaje de plantas útiles

A los 30 días después de la siembra, se contabilizó el número de plántulas adecuadas para el trasplante al campo, en la parcela total, expresados en los valores en porcentaje.

2.10. Análisis de la información

El estudio fue conducido en un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones, para evaluar el efecto de cinco sustratos. Las variables estudiadas fueron sometidas a análisis de varianza para detectar las posibles diferencias significativas entre los tratamientos y posteriormente fueron sometidas a prueba de medias según Tukey ($p < 0.05$).

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Características agronómicas de las plantas obtenidas de los sustratos en estudio.

3.1.1. Altura de planta a los 15 días

Se observó efecto de los diferentes tipos de sustratos usados sobre las características agronómicas de las plantas obtenidas de la germinación de las semillas de brócoli, observándose diferencias significativas entre ellas. Con relación a la altura de plantas, a los 15 días, los mejores resultados fueron observados con los sustratos donde se usó la menor cantidad de *Azolla* enriquecido con zeolita y ácidos húmicos, obteniéndose plantas de 2.52 cm de altura con el sustrato compuesto por 68.5% de *Azolla* + 28.5% de zeolita + 3.0% de ácidos húmicos, seguido del tratamiento con *Sphagnum* donde las plantas alcanzaron 2.19 cm y por el tratamiento sustrato formado por 69.0 de *Azolla* + 29.0% de zeolita + 2.0% de ácidos húmicos donde las plantas alcanzaron una altura de 1.85 cm (Fig. 3). EL resto de los tratamientos mostraron valores inferiores.

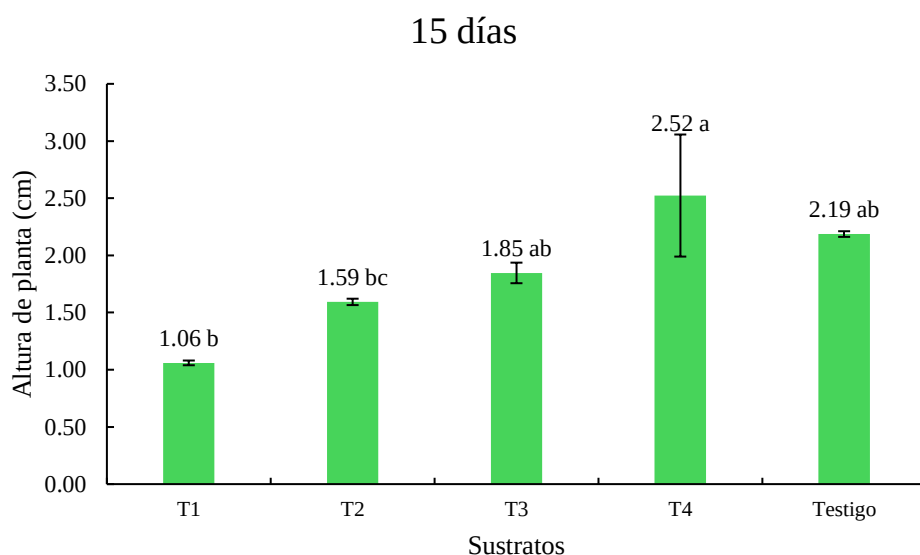


Figura 3

Altura de plantas de brócoli medida a los 15 días después de la germinación de la semilla en diferentes sustratos

Castro et al. (2003) demostraron que el incremento de la altura de plantas de arroz por efecto de la incorporación y/o asociación de *Azolla* junto con la fertilización nitrogenada, lo cual fue proporcional a las cantidades de *Azolla* utilizada. Adicionalmente, Petruccelli et al. (2015) mostraron que la adición de 17 mL/L y 21 mL/L de extractos de *Azolla* promovieron

el aumento de la altura de la planta, el número de hojas, el área foliar y el peso fresco en lechuga y, además, el contenido de agua de la planta tiende a ser mayor en el tratamiento con extracto de *Azolla*.

3.1.2. Altura de planta a los 30 días

A los 30 días después de la germinación, las plantas que crecieron en *Sphagnum* mostraron la mayor altura (3.71 cm), la cual fue 13.7% mayor que en plantas que crecieron en el sustrato con *Azolla* 68.5% + zeolita 28.5 % + ácidos húmicos 3.0%, mientras que fue 43.0, 38.5 y 32.9% mayor que con los sustratos S1 (*Azolla* 70% + zeolita 30 %), S2 (*Azolla* 69.5% + zeolita 29.5 % + ácidos húmicos 1.0%) y S3 (*Azolla* 69% + zeolita 29 % + ácidos húmicos 2 %) (Fig. 4).

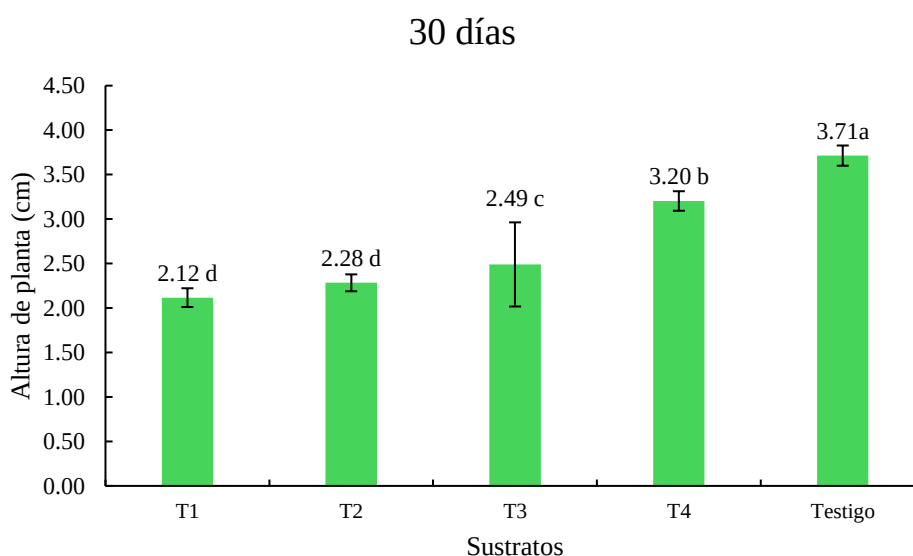


Figura 4

Altura de plantas de brócoli medida a los 30 días después de la germinación de la semilla en diferentes sustratos

Annapoorna et al. (2022) también mostraron que el uso de *Azolla* tuvo un efecto significativo en la longitud de plantas de okra, las cuales mostraron una altura media de 83.3 cm, comparado con el control donde la altura alcanzó 33.5 cm.

3.1.3. Número de hojas por planta

Con respecto a esta variable se observó un efecto del tipo de sustrato, siendo mayor el número de hojas por plantas obtenidas de semillas germinadas en turba de *Sphagnum* (T)

y con el sustrato conformado por *Azolla* 68.5% + zeolita 28.5 % + ácidos húmicos 3.0% (T4), ambas con un promedio de 3.13 hojas por planta. En el resto de tratamientos, el número de hojas fue 9.6%, 12.8% y 28.8% menor con los sustratos con *Azolla* 69% + zeolita 29 % + ácidos húmicos 2 % (T3), *Azolla* 69.5% + zeolita 29.5 % + ácidos húmicos 1.0% (T2) y *Azolla* 70% + zeolita 30 % (T1), respectivamente (Fig. 5).

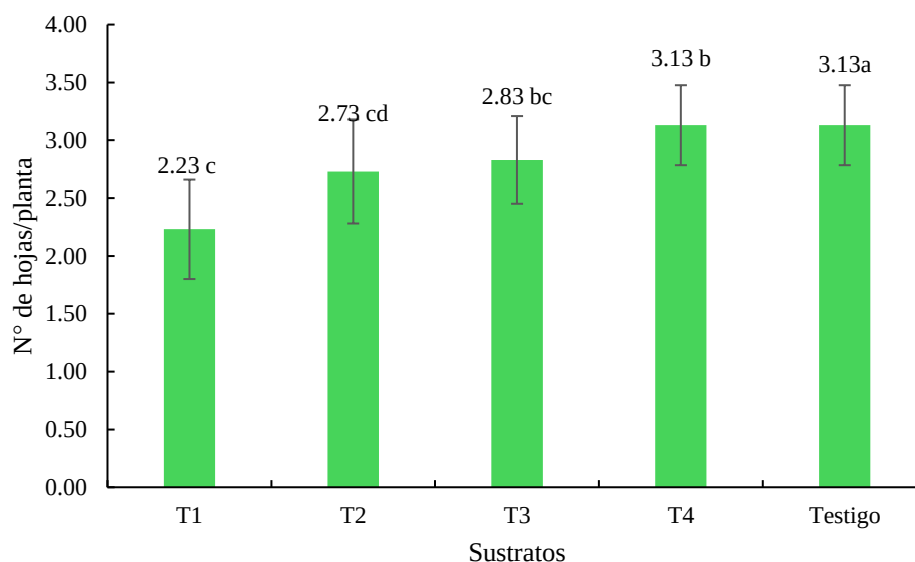


Figura 5

Número de hojas por planta de brócoli obtenidas de semillas germinadas en diferentes sustratos

Hastuti et al. (2024) encontraron variaciones en el número de hojas con la adición de fertilizante hecho a base de *Azolla* en proporciones que variaron desde 15 hasta 100%. De acuerdo con estos autores, la aplicación de *Azolla*, una fuente de materia orgánica, puede aumentar la eficiencia del uso de nutrientes, especialmente para los elementos nitrogenados.

3.1.4. Volumen radicular

De forma similar, se demostró un efecto del tipo de sustrato usado, observándose un mayor volumen de raíces en plantas que crecieron en turba de *Sphagnum*, mientras que en las

plantas que crecieron en *Azolla* 68.5% + zeolita 28.5 % + ácidos húmicos 3.0%, el volumen de 0.45 ml, lo cual fue 22.4% menor (Fig. 6). En el resto de los tratamientos, el volumen de la raíz fue 55.2, 44.8 y 32.2% menor con relación al mejor tratamiento con turba de *Sphagnum*.

En un estudio realizado por Raut et al. (2017) en el que querían encontrar cepas productoras eficientes de ácido indol acético y evaluar la eficacia de la dosis combinada de productores de azolla (seca) y AIA en el crecimiento de las plantas encontraron que la longitud de la raíz se incrementó con el uso de sustrato enriquecido con *Azolla*, debido al efecto de solubilización de nutrientes que mejora el crecimiento de la raíz. De manera similar, Petruccelli et al. (2015) observaron que el uso de *Azolla* provocó un incremento del peso fresco se concentró principalmente en las raíces y hojas cuando se usó sustrato a base de 50 % *Azolla* + 50 % piedra pómez, lo cual podría atribuirse a los mayores valores de altura de planta y área foliar, los cuales están correlacionados con los parámetros de crecimiento de raíz.

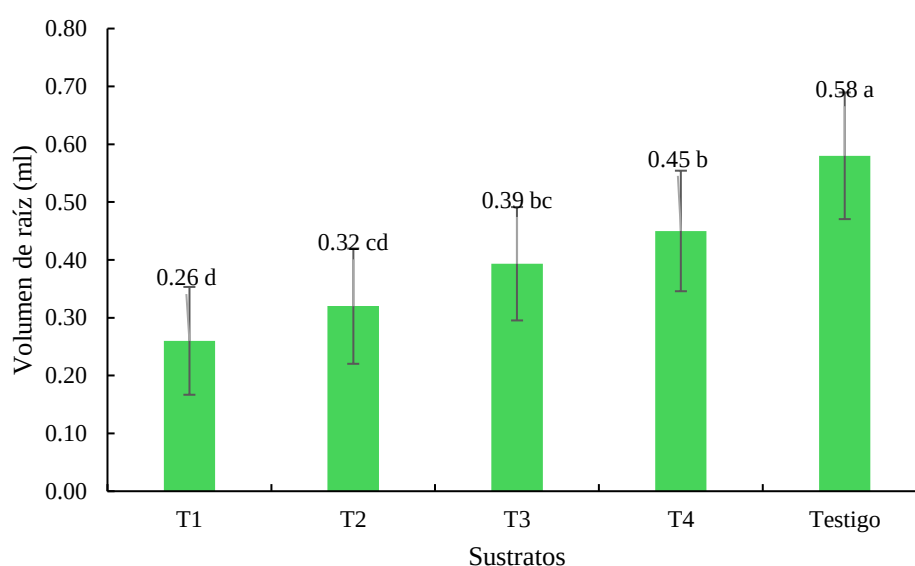


Figura 6

Volumen de la raíz en plantas de brócoli obtenidas de semillas germinadas en diferentes sustratos

3.1.5. Porcentaje de germinación y plantas útiles

Así mismo, se demostró efecto del tipo de sustrato sobre el porcentaje de plantas útiles. El mayor porcentaje fue alcanzado con turba de *Sphagnum* y con el sustrato con *Azolla* 68.5%

+ zeolita 28.5 % + ácidos húmicos 3.0%, con los cuales se obtuvieron 97.33% y 92.67% de plantas útiles, mientras que este porcentaje tendió a disminuir en 12.2% cuando el sustrato estuvo compuesto por *Azolla* 69% + zeolita 29 % + ácidos húmicos 2 % y un descenso aún mayor fue observado cuando se usó el sustrato a base de *Azolla* 70% + zeolita 30 % con la que el porcentaje disminuyó hasta un 63% y en 21.4% con el sustrato con *Azolla* 69.5% + zeolita 29.5 % + ácidos húmicos 1.0% (Fig. 7).

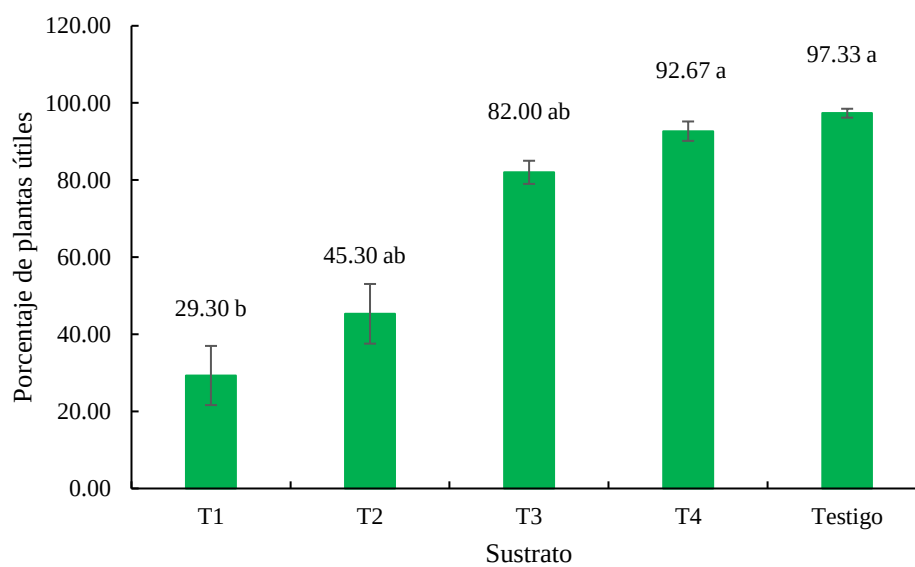


Figura 7

Porcentaje de plantas útiles de brócoli obtenidas a partir de semillas germinadas en diferentes tipos de sustratos

Finalmente se encontró que el tipo de sustrato también afectó el porcentaje de germinación de las semillas de brócoli. Nuevamente, los mejores resultados fueron obtenidos con el uso de turba de Sphagnum, el sustrato 5 (*Azolla* 68.5% + zeolita 28.5 % + ácidos húmicos 3.0%), sustrato 4 (*Azolla* 69% + zeolita 29 % + ácidos húmicos 2 %) y sustrato 3 (*Azolla* 69.5% + zeolita 29.5 % + ácidos húmicos 1.0%) con los cuales se observó un 98.0%, 95.7%, 86.0% y 77.0% de germinación, los cuales fueron significativamente mayores al porcentaje de germinación de las semillas que crecieron en el sustrato a base de *Azolla* 70% + zeolita 30 % (Fig. 8).

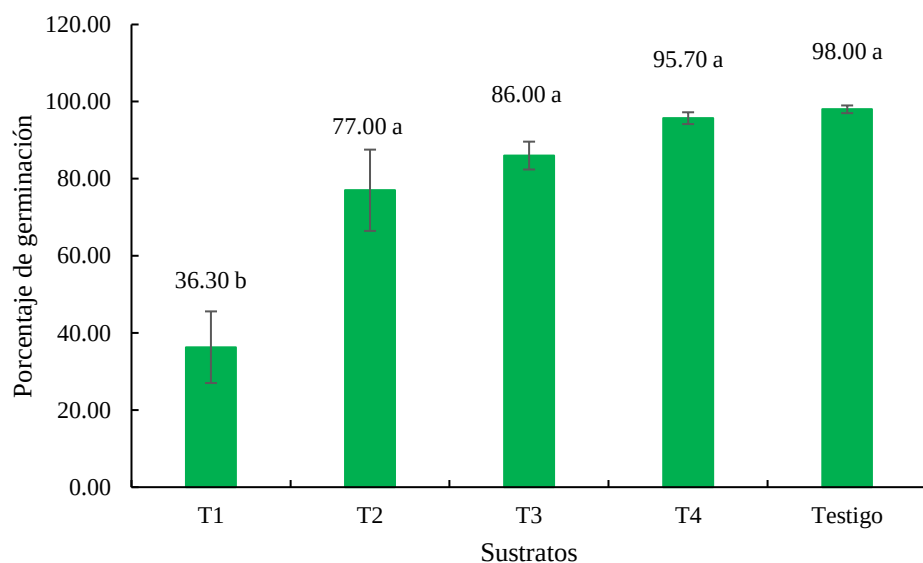


Figura 8

Porcentaje de germinación obtenido a partir de semillas germinadas en diferentes tipos de sustratos

El valor nutricional de la *Azolla* ha sido documentado por ser una fuente de proteínas, minerales esenciales como hierro, calcio, magnesio, potasio y cantidades significativas de vitaminas A y B-12, probióticos y biopolímeros, además, mejora el contenido de nitrógeno y capacidad de retención de agua en suelos arenosos y limosos (Korsa et al., 2024).

Los estudios han demostrado varios beneficios obtenidos a partir de la incorporación de *Azolla*. Marzouk et al. (2024) encontraron que la incorporación de *Azolla*, paja de arroz y niveles reducidos de aporte de nitrógeno resultó en mayor rendimiento de grano de arroz, absorción de nitrógeno y eficiencia agronómica del nitrógeno, debido a que *Azolla* mejora la fijación de nitrógeno y al enriquecimiento del suelo logrando minimizar la dependencia excesiva de fertilizantes químicos, lo que contribuye con el desarrollo agrícola sostenible y la conservación del ambiente.

Los efectos positivos sobre el crecimiento de plantas y en el rendimiento de los cultivos derivados del uso de *Azolla* pueden ser debido a la asociación simbiótica con una cianobacteria que tiene la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico, pero además *Azolla* proporciona materia orgánica al suelo, lo cual, en conjunto, le confiere propiedades de biofertilizante (Ahmad y Tariq, 2021).

Por otra parte, Shedeed y Farahat (2023) evaluaron el uso potencial de *Azolla pinnata* fresca para disminuir el efecto tóxico del Cd y Co en la germinación de semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.) y la bioquímica de plántulas, observándose que la presencia de *A. pinnata* aumentó el porcentaje de germinación y el crecimiento de las plántulas y también disminuyó la fitotoxicidad radicular de trigo, debido al efecto de remoción de los metales pesados, además produjo la disminución en los niveles de H₂O₂, prolina, compuestos fenólicos y flavonoides acompañada de una reducción en las actividades de catalasa y peroxidasa en comparación con el control, lo que demuestra el efecto benéfico del uso de *Azolla* como sustrato de germinación.

De la misma forma, Tejaswini et al. (2015) evaluaron el efecto del uso de diferentes cantidades de *A. pinnata* (T1=10 g, T2= 25 g, T3= 50 g, T4=100 g, T0a= 10 g de Factamphos como control positivo y T0b control negativo) con tierra: arena: estiércol de corral (2:1:1) sobre la germinación de las semillas, el índice de vigor, la biomasa y el rendimiento de fréjol. Se encontró que el uso de *Azolla* incremento la germinación de semillas hasta 81.66 % cuando se usó 25 g de biomasa de *Azolla*, seguido de 10 g (76.33 %), 100 g (76.00 %) y 50 g (72.66 %) de biomasa de *Azolla* respectivamente, además se observó un aumento significativo en el vigor de las plántulas y el rendimiento en todos los tratamientos en comparación con los controles, demostrándose el beneficio del uso de *Azolla* como un sustrato para el aumento de la biomasa y el rendimiento general del fréjol.

3.2. Costos de producción de las plántulas por tratamiento

En cuanto a los costos por cada tratamiento, no se observaron grandes diferencias entre ellos, variando desde valores de 0.10 USD para la preparación del sustrato 1 compuesto por compuesto por *Azolla* 70% + zeolita 30 %, 0.14 USD para la preparación del sustrato 2 a base de 69.5% de *Azolla* con 29.5% de zeolita y 1.0% de ácidos húmicos, mientras que el sustrato 3 compuesto por 69% de *Azolla*, 29% de zeolita y 2.0% de ácidos húmicos costó 0.15 USD y un ligero incremento se observó con la preparación del sustrato 4 compuesto por *Azolla* 68.5 % + zeolita 28.5 % + ácidos húmicos 3.0 % que tuvo un costo de 0.17 USD, el cual fue solo 3 centavos más económico que el uso de turba de Sphagnum (Tablas 2-6).

Costos de producción en volumen por tratamiento

Tabla 2

Costos de producción del sustrato 1 compuesto por Azolla 70% + zeolita 30 %

Material	Valor unitario (\$)	Volumen del alveolo (cm³)	Volumen de sustrato (cm³)	Valor total (cm³)
Zeolita (g)	0.12	8.2	5.74	0.12
<i>Azolla anabaena</i> (g)	0.15	8.2	2.46	0.15
Total			2.460 cm³	0.27
			2.46 L	\$ 0.10

Tabla 3

Costos de producción del sustrato compuesto por Azolla 69.5% + zeolita 29.5 % + ácidos húmicos 1.0 %

Material	Valor unitario (\$)	Volumen del alveolo (cm³)	Volumen de sustrato (cm³)	Valor total (cm³)
<i>Azolla anabaena</i>	0.12	8.2	5.699	0.12
Zeolita (g)	0.13	8.2	2.419	0.13
Ácidos húmicos	0.10	8.2	0.082	0.10
Total			2.460 cm³	0.35
			2.46 L	\$ 0.14

Tabla 4

Costos de producción del sustrato 3 compuesto por Azolla 69 % + Zeolita 29 % + ácidos húmicos 2.0 %

Material	Valor unitario (\$)	Volumen del alveolo (cm³)	Volumen de sustrato (cm³)	Valor total (cm³)
<i>Azolla anabaena</i> (g)	0.12	8.2	5.658	0.12
Zeolita (g)	0.13	8.2	2.419	0.13
Ácidos húmicos	0.14	8.2	0.164	0.14
Total			2.460 cm³	0.39
			2.46 L	\$ 0.15

Tabla 5

Costos de producción del sustrato 4 compuesto por Azolla 68.5 % + zeolita 28.5 % + ácidos húmicos 3.0 %

Material	Valor unitario (\$)	Volumen del alveolo (cm³)	Volumen de sustrato (cm³)	Valor total (cm³)
<i>Azolla anabaena</i> (g)	0.12	8.2	5.617	0.12
Zeolita (g)	0.15	8.2	2.337	0.15
Ácidos húmicos (g)	0.17	8.2	0.246	0.17
Total			2.460 cm³	0.44
			2.46 L	\$ 0.17

Tabla 6*Costos de producción del sustrato 5 compuesto por turba de Sphagnum*

Material	Valor unitario	Volumen del alveolo (cm ³)	Volumen de sustrato (cm ³)	Valor total
Turba de <i>Sphagnum</i> (g)	0.50	57.9	57.9	0.50
Total			2.460 cm³	0.50
			2.46 L	\$ 0.20

Con base en los resultados obtenidos, con los cuales se evidenció que con el uso de que el uso de *Azolla* 68.5% + zeolita 28.5 % + ácidos húmicos 3.0% produjo los mejores resultados en cuanto a la altura de plantas a los 15 y 30 días, número de hojas y volumen de raíz, así como el mayor porcentaje de plantas útiles y de germinación de semillas, los cuales fueron similares a los observados con el sustrato comercial a base de turba de *Sphagnum* se sugiere seguir este protocolo para la elaboración de sustratos a base de *Azolla anabaena* enriquecido con *zeolita* y ácido húmico para la germinación de semillas de brócoli.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Se encontró un efecto del tipo de sustrato sobre la germinación de las semillas de brócoli observándose que los mejores resultados fueron obtenidos con el uso de turba de *Sphagnum*, sin embargo, con el uso de Azolla 68.5% + zeolita 28.5 % + ácidos húmicos 3.0% se produjeron resultados similares que con la turba de *Sphagnum* en cuanto a la altura de plantas a los 15 y 30 días, número de hojas y volumen de raíz.

También se observó que el mayor porcentaje de plantas útiles y de germinación de semillas fue obtenido cuando se usó el sustrato a base de Azolla 68.5% + zeolita 28.5 % + ácidos húmicos 3.0%,

Con relación a los costos, no se observaron diferencias importantes entre los costos de producción de los diferentes sustratos, sin embargo, debido a que la turba de *Sphagnum* es un producto importado, el uso de sustratos alternativos preparados a partir de productos disponibles localmente puede ser una alternativa más sustentable para los agricultores de la región.

4.2. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados, se sugiere el uso de sustrato a base de Azolla 68.5% + zeolita 28.5 % + ácidos húmicos 3.0% puesto que es capaz de producir resultados similares a cuando se usa un sustrato comercial como la turba de *Sphagnum*

Es recomendable repetir este tipo de sustrato con semillas de otros cultivos para evaluar su potencial efecto en el porcentaje de germinación y así mejorar la calidad de plantas para la siembra

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adorada, J. L., Adorada, A. L., & Recuenco-Adorada, J. (2023). Enersol promotes growth and yield performance of pechay (*Brassica rapa* L. var. *chinensis* (L.) Hanelt). *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*, 10(4), 322–334. <https://doi.org/10.9734/ajahr/2023/v10i4274>
- Ahmad, N., & Tariq, H. (2021). Azolla as Waste Decomposer and Bio-fertilizer: A Review. *Journal of Applied Research in Plant Sciences*, 2(1), 108–116. <https://doi.org/10.38211/joarps.2021.2.1.14>
- Ampong, K., Thilakaranthna, M. S., & Gorim, L. Y. (2022). Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy*, 4, 848621. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.848621>
- Annapoorna, R., Sapna, Basavarajappa, S. H., Vibha, G., & Shankaramma, K. (2022). Impacts of Azolla application on growth and yield parameters of okra (*Abelmoschus Esculentus*). *International Journal of Creative Research Thoughts*, 10(5), 427–433. www.ijcrt.org
- Cardoso, A. I. I., Lanna, N. B. L., Silva, P. N. de L., Nakada Freitas, P. G., dos Santos, P. L., Pierozzi, C. G., & Kronka, A. Z. (2015). Germination, vigor and pathogen incidence in broccoli seed treated with Carboxin + Thiran. *African Journal of Agricultural Research*, 10(1), 1–5. <https://doi.org/10.5897/2014.9194>
- Caron, J., Price, J. S., & Rochefort, L. (2015). Physical properties of organic soil: adapting mineral soil concepts to horticultural growing media and Histosol characterization. *Vadose Zone Journal*, 14(6), 1–14. <https://doi.org/10.2136/vzj2014.10.0146>
- Castro, R., Novo, R., & Castro, R. I. (2003). Influence of Azolla-Anabaena symbiosis on rice (*Oryza sativa* L.) crop as a nutritional alternative. *Cultivos Tropicales*, 24(3), 77–82. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193218163012>
- Domínguez, E., McLeod, C., Águila, K., Ojeda, A., & Ivelic-Sáez, J. (2017). Cómo utilizar la turba rubia de Sphagnum en horticultura. In *Ministerio de Agricultura*.
- Dos Santos, P. L. F., & De Castilho, R. M. M. (2018). Germination and development of ornamental sunflower seedlings in substrates. *Ornamental Horticulture*, 24(4), 303–310. <https://doi.org/10.14295/oh.v24i4.1152>
- Glatzel, S., & Rochefort, L. (2017). Growing sphagnum. *Mires and Peat*, 20, 1–4. <https://doi.org/10.19189/MaP.2017.OMB.276>
- Gupta, A., & Kumar, R. (2020). Management of seed-borne diseases: an integrated approach. In R. Kumar & A. Gupta (Eds.), *Seed-Borne Diseases of Agricultural Crops: Detection, Diagnosis and Management* (pp. 717–745). Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-32-9046-4>

- Gutierrez, J., Alonso, F., Alvarez, J., Martinez, E., Florez, M., Delgado, M., Franco, B. K., & Hernandez-aguilar, C. (2024). Magneto-priming of seeds decreases the saline effect of wastewater irrigation on broccoli germination and seedling growth. *Seeds*, 3, 169–178.
- Hamim, I., Mohanto, D. C., Sarker, M. A., & Ali, M. A. (2014). Effect of seed borne pathogens on germination of some vegetable seeds. *Journal of Phytopathology and Pest Management*, 1(1), 34–51.
- Hastuti, P. B., Wirianata, H., Yunita, R., & Manto, A. (2024). The Effect of Applying Azolla Liquid Organic Fertilizer in the Growth of Oil Palm Seedlings in Pre-Nursery. *AJARCDE (Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment)*, 38–41. <https://doi.org/10.29165/ajarcde.v8i1.369>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill Interamericana Editores S.A.
- Intana, W., Khomphet, T., Srichai, N., Bundit, N., & Islam, S. S. (2023). Application of Azolla spp. as a growing medium component for melon grown in a soilless culture system. *Applied Sciences*, 13, 10288. <https://doi.org/10.3390/app131810288>
- Khalil, H. E., Abdelwahab, M. F., Emeka, P. M., Badger-Emeka, L. I., Abdel Hafez, S. M. N., AlYahya, K. A., Ahmed, A. S. F., Anter, A. F., Abdel-Wahab, N. M., Matsunami, K., & Ibrahim Selim, A. H. (2022). Chemical Composition and Valorization of Broccoli Leaf By-Products (*Brassica oleracea* L. Variety: Italica) to Ameliorate Renal-Hepatic Toxicity Induced by Gentamicin in Rats. *Applied Sciences*, 12(14), 6903. <https://doi.org/10.3390/app12146903>
- Kordala, N., & Wyszowski, M. (2024). Zeolite Properties, Methods of Synthesis, and Selected Applications. *Molecules*, 29(5). <https://doi.org/10.3390/molecules29051069>
- Korsa, G., Alemu, D., & Ayele, A. (2024). Azolla plant production and their potential applications. *International Journal of Agronomy*, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2024/1716440>
- Krstić, M., Ovuka, J., Radić, V., Gvozdenac, S., Miklič, V., Mladenov, V., Banjac, B., & Kukrić, T. (2022). Seed size and substrate effect on seed germination of inbred sunflower lines. *20th International Sunflower Conference*, 272–278.
- Marzouk, S. H., Semoka, J. M., Amuri, N. A., & Tindwa, H. J. (2024). Rice straw incorporation and Azolla application improves agronomic nitrogen-use-efficiency and rice grain yields in paddy fields. *Frontiers in Soil Science*, 4, 1378065. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1378065>
- Marzouk, S. H., Tindwa, H. J., Amuri, N. A., & Semoka, J. M. (2023). An overview of underutilized benefits derived from Azolla as a promising biofertilizer in lowland rice production. *Heliyon*, 9(1), e13040. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13040>

- Mondal, M., Biswas, B., Garai, S., Sarkar, S., Banerjee, H., Brahmachari, K., Bandyopadhyay, P. K., Maitra, S., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P., & Hossain, A. (2021). Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety. *Agronomy*, 11, 448. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030448>
- Nagraj, G. S., Chouksey, A., Jaiswal, S., & Jaiswal, A. K. (2020). Broccoli. In A. K. Jaiswal (Ed.), *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (pp. 5–17). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00001-5>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). *Datos de cultivos*. FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Petrucelli, R., Briccoli Bati, C., Carlozzi, P., Padovani, G., Vignozzi, N., & Bartolini, G. (2015). Use of Azolla as a growing medium component in the nursery production of olive trees. *International Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(4), 333. <https://doi.org/10.14419/ijbas.v4i4.4660>
- Rahman, S. M. A., Kamel, M. A., Ali, M. A., Alotaibi, B. S., Aharthy, O. M., Shukry, M., & Abd El-Bary, H. M. (2023). Comparative study on the phytochemical characterization and biological activities of *Azolla caroliniana* and *Azolla filiculoides*: in vitro study. *Plants*, 12, 3229. <https://doi.org/10.3390/plants12183229>
- Raut, V., Shaikh, I., Naphade, B., Prashar, K., & Adhapure, N. (2017). Plant growth promotion using microbial IAA producers in conjunction with azolla: A novel approach. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/S40538-016-0083-3>
- Raviv, M., Wallach, R., Silber, A., & Bar-Tal, A. (2002). Substrates and their Analysis. In D. Savvas & H. Passam (Eds.), *Hydroponic Production of vegetables and Ornamentals* (pp. 25–101). Embryo Publications.
- Roy, D. C., Pakhira, M. C., & Bera, S. (2016). A review on biology, cultivation and utilization of Azolla. *Advances in Life Sciences*, 5(1), 11–15.
- Sankar, V., Senthilkumar, P., Sribalaji, N., Nalini, P., & Muralidharan, J. (2023). Economics of production of shade-dried Azolla (*Azolla pinnata*) meal in semi-arid region. *The Pharma Innovation Journal*, 12(5), 2677–2679.
- Schafer, G., & Lerner, B. L. (2022). Physical and chemical characteristics and analysis of plant substrate. *Ornamental Horticulture*, 28(2), 181–192. <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v28i2.2496>
- Sharma, N. K., Joshi, M., Sharma, A., Singh, G., Ram, U., & Sharma, S. K. (2020). Study of chemical composition of green Azolla *Azolla pinnata*. *International Journal of Chemical Studies*, 8(6), 3027–3029. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i6aq.11975>

- Shedeed, Z. A., & Farahat, E. A. (2023a). Alleviating the toxic effects of Cd and Co on the seed germination and seedling biochemistry of wheat (*Triticum aestivum* L.) using *Azolla pinnata*. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 76192–76203. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27566-1>
- Shedeed, Z. A., & Farahat, E. A. (2023b). Alleviating the toxic effects of Cd and Co on the seed germination and seedling biochemistry of wheat (*Triticum aestivum* L.) using *Azolla pinnata*. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(30), 76192–76203. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27566-1>
- Tejaswini, G. S., Mahadevakumar, S., & Janardhana, G. R. (2015). Effect of *Azolla pinnata* on seed germination, vigour index, biomass and yield of french bean (*Phaseolus vulgaris*). *Current Agriculture Research Journal*, 3(2), 137–141. <https://doi.org/10.12944/carj.3.2.07>
- Velástegui-Espín, G. P., Núñez-Torres, O. P., Pazmiño-Miranda, N. D. P., Villacrés-Villarroel, M. R., & Cruz-Tobar, S. E. (2018). Comparación de dos variedades de amaranto: blanco (*Amaranthus hypocondriacus* L.) y sangoracha (*Amaranthus quitensis* L.) utilizando azolla (*Azolla Filiculoides*) como sustrato en la propagación sexual. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 6(1), 11–21. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2018.060100011>
- Vergara, J. (2023). *Incidencia de bioestimulantes y sustratos en germinación de semillas de badea (Passiflora quadrangularis; L.) en vivero*. Universidad Estatal Del Sur De Manabi.
- Verma, G., Kumar, A., Babu, S., Singh, R., Gudade, B., Bhatt, M., Saha, S., & Chand Yadav, N. (2022). Implications and Future Prospects of *Azolla* as a Low-Cost Organic Input in Agriculture. *Agricolation*, 1(6), 1–7.
- Xiubin, H., & Zhanbin, H. (2001). Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. *Resources, Conservation and Recycling*, 34(1), 45–52. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(01\)00094-5](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(01)00094-5)
- Żyła, N., Fidler, J., & Babula-Skowrońska, D. (2021). Economic and Academic Importance of *Brassica oleracea*. In S. Liu, R. Snowdon, & C. Kole (Eds.), *The Brassica oleracea Genome* (pp. 1–6). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31005-9_1

ANEXOS

1. Análisis estadístico

1.1. ADEVA

a. Porcentaje de germinación

Statistix 10,0 22/6/2024; 11:22:39

Completely Randomized AOV for PorcGerm

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratamien	4	7534,27	1883,57	44,08	0,0000
Error	10	427,33	42,73		
Total	14	7961,60			

Grand Mean 78,600 CV 8,32

Homogeneity of Variances	F	P
Levene's Test	2,71	0,0915
O'Brien's Test	1,21	0,3673
Brown and Forsythe Test	1,43	0,2949

Welch's Test for Mean Differences

Source	DF	F	P
Tratamien	4,0	29,29	0,0018
Error	4,6		

Component of variance for between groups 613,611
Effective cell size 3,0

Tratamien	Mean
1	36,333
2	77,000
3	86,000
4	95,667
5	98,000
Observations per Mean	3
Standard Error of a Mean	3,7742
Std Error (Diff of 2 Means)	5,3375

b. Número de plantas útiles

Completely Randomized AOV for Plantas útiles

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratamien	4	10994,7	2748,67	9,17	0,0022
Error	10	2998,7	299,87		
Total	14	13993,3			

Grand Mean 69,333 CV 24,98

Homogeneity of Variances	F	P
Levene's Test	3,89	0,0370
O'Brien's Test	1,73	0,2194
Brown and Forsythe Test	1,17	0,3813

Welch's Test for Mean Differences

Source	DF	F	P
Tratamien	4,0	50,84	0,0006
Error	4,5		

Component of variance for between groups	816,267
Effective cell size	3,0

Tratamien Mean

1	29,333
2	45,333
3	82,000
4	92,667
5	97,333

Observations per Mean	3
Standard Error of a Mean	9,9978
Std Error (Diff of 2 Means)	14,139

c. Altura de plantas a los 15 días

Statistix 10,0

Altura.sx; 22/6/2024; 11:32:59

Completely Randomized AOV for Altura1

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratam	4	37,692	9,42293	5,47	0,0004
Error	145	249,754	1,72244		
Total	149	287,445			

Grand Mean	1,8420	CV 71,25
------------	--------	----------

Homogeneity of Variances

	F	P
Levene's Test	1,07	0,3736
O'Brien's Test	1,03	0,3924
Brown and Forsythe Test	0,83	0,5111

Welch's Test for Mean Differences

Source	DF	F	P
Tratam	4,0	347,71	0,0000
Error	70,5		

Component of variance for between groups	0,25668
Effective cell size	30,0

Tratam Mean

1	1,0600
2	1,5933
3	1,8467
4	2,5233
5	2,1867

Observations per Mean	30
Standard Error of a Mean	0,2396
Std Error (Diff of 2 Means)	0,3389

Completely Randomized AOV for Altura1sq

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratam	4	2,81600	0,70400	14,86	0,0000
Error	145	6,87161	0,04739		
Total	149	9,68760			

Grand Mean 1,6666 CV 13,06

Homogeneity of Variances

	F	P
Levene's Test	1,06	0,3771
O'Brien's Test	1,03	0,3960
Brown and Forsythe Test	0,67	0,6105

Welch's Test for Mean Differences

Source	DF	F	P
Tratam	4,0	329,02	0,0000
Error	70,3		

Component of variance for between groups 0,02189
Effective cell size 30,0

Tratam Mean

1	1,4347
2	1,6097
3	1,6870
4	1,8166
5	1,7847
Observations per Mean	30
Standard Error of a Mean	0,0397
Std Error (Diff of 2 Means)	0,0562

d. Altura de plantas a los 30 días**Completely Randomized AOV for Altura2**

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratam	4	54,5811	13,6453	253,84	0,0000
Error	145	7,7947	0,0538		
Total	149	62,3757			

Grand Mean 2,7613 CV 8,40

Homogeneity of Variances

	F	P
Levene's Test	1,40	0,2375
O'Brien's Test	1,35	0,2544
Brown and Forsythe Test	4,57	0,0017

Welch's Test for Mean Differences

Source	DF	F	P
Tratam	4,0	1090,42	0,0000
Error	71,4		

Component of variance for between groups 0,45305
Effective cell size 30,0

Tratam	Mean
1	2,1167
2	2,2833
3	2,4900
4	3,2033
5	3,7133
Observations per Mean	30
Standard Error of a Mean	0,0423
Std Error (Diff of 2 Means)	0,0599

e. Número de hojas por planta

Completely Randomized AOV for Nhojas

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratam	4	16,4400	4,11000	26,68	0,0000
Error	145	22,3333	0,15402		
Total	149	38,7733			

Grand Mean 2,8133 CV 13,95

Homogeneity of Variances	F	P
Levene's Test	0,70	0,5929
O'Brien's Test	0,68	0,6096
Brown and Forsythe Test	0,71	0,5835

Welch's Test for Mean Differences

Source	DF	F	P
Tratam	4,0	25,19	0,0000
Error	72,3		

Component of variance for between groups 0,13187
Effective cell size 30,0

Tratam	Mean
1	2,2333
2	2,7333
3	2,8333
4	3,1333
5	3,1333
Observations per Mean	30
Standard Error of a Mean	0,0717
Std Error (Diff of 2 Means)	0,1013

f. Volumen de raiz

Completely Randomized AOV for VolRaiz

Source	DF	SS	MS	F	P
Tratam	4	1,83840	0,45960	44,99	0,0000
Error	145	1,48133	0,01022		
Total	149	3,31973			

Grand Mean 0,4013 CV 25,18

Homogeneity of Variances	F	P
Levene's Test	0,26	0,9038
O'Brien's Test	0,25	0,9094
Brown and Forsythe Test	0,50	0,7350

Welch's Test for Mean Differences

Source	DF	F	P
Tratam	4,0	42,46	0,0000
Error	72,4		

Component of variance for between groups	0,01498
Effective cell size	30,0

Tratam	Mean
1	0,2600
2	0,3200
3	0,3933
4	0,4533
5	0,5800
Observations per Mean	30
Standard Error of a Mean	0,0185
Std Error (Diff of 2 Means)	0,0261

1.2. Prueba de medias

a. Porcentaje de germinación

Statistix 10,0 22/6/2024; 11:23:59

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of PorcGerm by Tratamien

Tratamien	Mean	Homogeneous Groups
5	98,000	A
4	95,667	A
3	86,000	A
2	77,000	A
1	36,333	B

Alpha	0,01	Standard Error for Comparison	5,3375
Critical Q Value	6,141	Critical Value for Comparison	23,178
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.			

b. Número de plantas útiles

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of Plantas by Tratamien

Tratamien	Mean	Homogeneous Groups
5	97,333	A
4	92,667	A
3	82,000	AB
2	45,333	AB
1	29,333	B

Alpha	0,01	Standard Error for Comparison	14,139
Critical Q Value	6,141	Critical Value for Comparison	61,398
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.			

c. Altura de plantas a los 15 días

Statistix 10,0 Altura.sx; 22/6/2024; 11:36:09

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of Altura1 by Tratam

Tratam	Mean	Homogeneous Groups
4	2,5233	A
5	2,1867	A
3	1,8467	AB
2	1,5933	AB
1	1,0600	B

Alpha 0,01 Standard Error for Comparison 0,3389
Critical Q Value 4,622 Critical Value for Comparison 1,1076
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of Altura1sq by Tratam

Tratam	Mean	Homogeneous Groups
4	1,8166	A
5	1,7847	AB
3	1,6870	AB
2	1,6097	BC
1	1,4347	C

Alpha 0,01 Standard Error for Comparison 0,0562
Critical Q Value 4,622 Critical Value for Comparison 0,1837
There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means are not significantly different from one another.

d. Altura de plantas a los 30 días**Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of Altura2 by Tratam**

Tratam	Mean	Homogeneous Groups
5	3,7133	A
4	3,2033	B
3	2,4900	C
2	2,2833	D
1	2,1167	D

Alpha 0,01 Standard Error for Comparison 0,0599
Critical Q Value 4,622 Critical Value for Comparison 0,1957
There are 4 groups (A, B, etc.) in which the means are not significantly different from one another.

a. Número de hojas por planta**Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of Nhojas by Tratam**

Tratam	Mean	Homogeneous Groups
4	3,1333	A
5	3,1333	A
3	2,8333	AB
2	2,7333	B
1	2,2333	C

Alpha 0,01 Standard Error for Comparison 0,1013
Critical Q Value 4,622 Critical Value for Comparison 0,3312
There are 3 groups (A, B, etc.) in which the means are not significantly different from one another.

g. Volumen de raiz

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of VolRaiz by Tratam

Tratam	Mean	Homogeneous Groups
5	0,5800	A
4	0,4533	B
3	0,3933	BC
2	0,3200	CD
1	0,2600	D

Alpha 0,01 Standard Error for Comparison 0,0261

Critical Q Value 4,622 Critical Value for Comparison 0,0853

There are 4 groups (A, B, etc.) in which the means are not significantly different from one another.

1.3. Resumen de estadísticos

Statistix 10,0

22/6/2024; 11:26:51

Breakdown for Plantas

Variable	Level	Mean	SD	SE
Tratamien	1	29,333	7,6376	4,4096
Tratamien	2	45,333	37,740	21,789
Tratamien	3	82,000	3,0000	1,7321
Tratamien	4	92,667	2,5166	1,4530
Tratamien	5	97,333	1,1547	0,6667
Overall		69,333	31,615	8,1630

Cases Included 15 Missing Cases 0

Breakdown for PorcGerm

Variable	Level	Mean	SD	SE
Tratamien	1	36,333	9,2916	5,3645
Tratamien	2	77,000	10,536	6,0828
Tratamien	3	86,000	3,6056	2,0817
Tratamien	4	95,667	1,5275	0,8819
Tratamien	5	98,000	1,0000	0,5774
Overall		78,600	23,847	6,1573

Cases Included 15 Missing Cases 0

Statistix 10,0

Altura.sx; 22/6/2024; 11:58:54

Breakdown for Altura1

Variable	Level	Mean	SD	SE
Tratam	1	1,0600	0,1133	0,0207
Tratam	2	1,5933	0,1530	0,0279
Tratam	3	1,8467	0,0900	0,0164
Tratam	4	2,5233	2,9239	0,5338
Tratam	5	2,1867	0,1358	0,0248
Overall		1,8420	1,3889	0,1134

Cases Included 150 Missing Cases 0

Breakdown for Altura2

Variable	Level	Mean	SD	SE
Tratam	1	2,1167	0,1053	0,0192
Tratam	2	2,2833	0,0950	0,0173
Tratam	3	2,4900	0,4730	0,0863
Tratam	4	3,2033	0,1098	0,0200
Tratam	5	3,7133	0,1137	0,0208
Overall		2,7613	0,6470	0,0528

Cases Included 150 Missing Cases 0

Breakdown for Nhojas

Variable	Level	Mean	SD	SE
Tratam	1	2,2333	0,4302	0,0785
Tratam	2	2,7333	0,4498	0,0821
Tratam	3	2,8333	0,3790	0,0692
Tratam	4	3,1333	0,3457	0,0631
Tratam	5	3,1333	0,3457	0,0631
Overall		2,8133	0,5101	0,0417

Cases Included 150 Missing Cases 0

Breakdown for VolRaiz

Variable	Level	Mean	SD	SE
Tratam	1	0,2600	0,0932	0,0170
Tratam	2	0,3200	0,0997	0,0182
Tratam	3	0,3933	0,0980	0,0179
Tratam	4	0,4533	0,1042	0,0190
Tratam	5	0,5800	0,1095	0,0200
Overall		0,4013	0,1493	0,0122

Cases Included 150 Missing Cases 0

2. Fotografías del ensayo



Figura 9

Cuidado de la Azolla anabaena en los estanques



Figura 10

Recolección de la Azolla anabaena



Figura 11

Adaptación de la Azolla anabaena dentro del invernadero



Figura 12

Recolección de la Azolla anabaena después de 21 días de secado



Figura 13

Trituración con la ayuda de un molino



Figura 14

Pesaje de cada uno de los sustratos

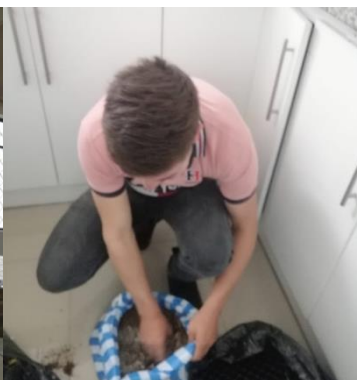


Figura 15

Mezcla de los sustratos



Figura 16

Siembra en los semilleros



Figura 17

Adaptación dentro del invernadero

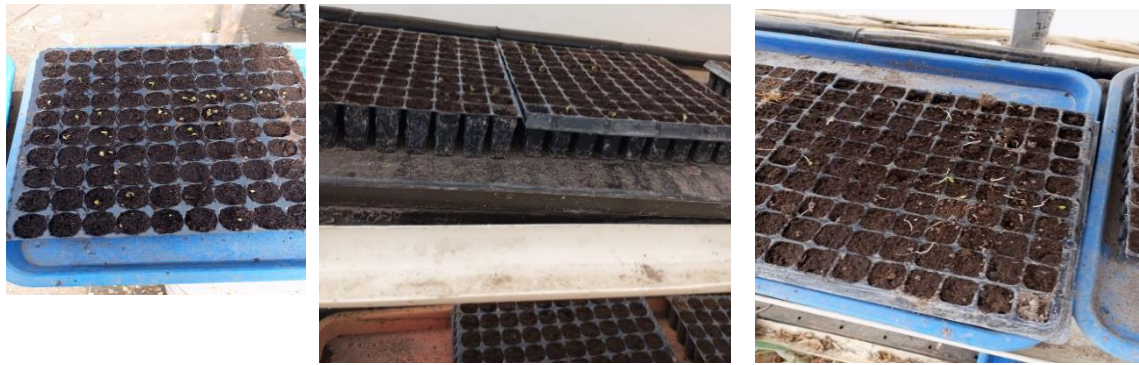


Figura 18

Recolección de datos de germinación después de 10 días de la siembra



Figura 19

Recolección de datos de altura de planta después de los 15 días de la siembra



Figura 20

Recolección de datos de altura y de hojas por plántula a los 30 días



Figura 21

Toma de datos sobre volumen radicular de las plántulas