

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Agronomía

Evaluación del efecto de inoculantes de suelo nativo y raíces de *Macleania rupestris* en dos sustratos sobre el crecimiento de plántulas de la misma especie

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Agrónomo


Autores:

Daniela Nicole Luna Avila

Luis Ángel Mendieta Gutiérrez

Director:

Denisse Fabiola Peña Tapia

ORCID:  0000-0002-7285-2646

Cuenca, Ecuador

2024-08-06

Resumen

Macleania rupestris, conocida comúnmente como joyapa es una planta nativa perteneciente a la familia Ericácea, conocida por sus beneficios tanto para la salud humana como para el sustento de los ecosistemas en los que se desarrolla. Encontrar sustratos en donde se establece correctamente esta especie es de suma importancia para su domesticación, además que el entender las interacciones microorganismos-sustrato es importante para comprender como las colonias microbianas endófitas de raíz, suelo circundante y suelo rizosférico se relacionan con los sustratos de turba y fibra en donde son inoculadas. Como método de estudio se evaluaron las variables altura de la planta y número de hojas a lo largo de un periodo de 4 meses y la variable biomasa únicamente en la última toma de datos del experimento. Se identificó que el sustrato turba establece mayores índices de supervivencia de las plantas independientemente del inoculante usado. A su vez el vehículo de inóculo de suelo circundante presentó mejores índices de incremento de altura denotando un mayor crecimiento en las plantas, mientras que el tratamiento de turba más inoculante de raíz denotó una mayor producción de hojas en el transcurso del ensayo. Este estudio muestra el efecto de los sustratos en la producción de plántulas de joyapa y el potencial de los inoculantes microbianos en el proceso de domesticación de *Macleania rupestris*.

Palabras clave del autor: Macleania rupestris, sustratos, inoculantes, suelo, raíz



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

Macleania rupestris, commonly known as joyapa, is a native plant belonging to the family Ericaceae, known for its benefits both for human health and for the sustenance of the ecosystems in which it grows. Finding substrates where this species is correctly established is of utmost importance for its domestication, besides, understanding the microorganism-substrate interactions is important to understand how the endophytic microbial colonies of root, surrounding soil and rhizospheric soil are related to the peat and fiber substrates where they are inoculated. As a method of study, the variables plant height and number of leaves were evaluated over a period of 4 months, and the biomass variable was evaluated only in the last data collection of the experiment. It was identified that the peat substrate establishes higher plant survival rates regardless of the inoculant used. In turn, the surrounding soil inoculum vehicle presented better rates of height increase denoting greater plant growth, while the peat plus root inoculant treatment denoted greater leaf production over the course of the trial. This study shows the effect of substrates on the production of joyapa seedlings and the potential of microbial inoculants in the domestication process of *Macleania rupestris*.

Author Keywords: *Macleania rupestris*, substrates, inoculants, soil, roots



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

Resumen	2
Abstract	3
Índice de contenido	4
Índice de figuras	6
Índice de tablas	8
Agradecimientos	9
Dedicatorias.....	10
Dedicatorias.....	11
1. Introducción	12
2. Objetivos.....	14
2.1. Objetivo General.....	14
2.2 Objetivos específicos	14
3. Revisión de literatura.....	15
3.1. Descripción y distribución de la familia Ericaceae	15
3.2. Descripción de la Joyapa (<i>Macleania rupestris</i>)	15
3.2.1. Taxonomía.....	15
3.3. Descripción morfológica.....	16
3.4. Sustratos usados para siembra de joyapa.....	16
3.4.1. Turba de germinación + perlita.....	16
3.4.2. Fibra.....	16
3.5. Microorganismos en el desarrollo de joyapa	17
3.6. Estudios referentes a <i>Macleania rupestris</i>	19
4. Metodología	21
4.1. Metodología para el primer objetivo específico:.....	21
4.2. Metodología para segundo objetivo específico:.....	21
4.3. Diseño experimental.....	22
4.4. Análisis estadístico.....	22

5. Resultados	23
5.1. Número de plantas vivas por tratamiento en los diferentes sustratos (Turba y Fibra)	23
5.2. Evolución de altura y número de hojas durante el estudio.....	24
6. Discusión	30
7. Conclusión.....	30
Referencias.....	333
8. Anexos.....	399
8.1. Anexo A. Tabla de número de plantas vivas en el experimento	39
8.2. Anexo B. Medias de datos para Turba y Fibra	40
8.3. Anexo C. Implementación del experimento	41
8.4. Anexo D. Plántulas al final del ensayo.....	44
8.5. Anexo E. Plántulas tomadas para biomasa	45

Índice de figuras

Figura 1. Supervivencia de plántulas de <i>M. rupestris</i> en sustrato turba	23
Figura 2. Supervivencia de plántulas de <i>M. rupestris</i> en el sustrato de fibra	24
Figura 3. Evolución de la altura de <i>M. rupestris</i> durante el periodo de estudio que comprende 9 fechas de recolección de datos	25
Figura 4. Evolución del número de hojas acumuladas de <i>M. rupestris</i> durante el periodo de estudio que comprende 9 fechas de recolección de datos	26
Figura 5. Altura de <i>M. rupestris</i> al final del experimento en cuatro tipos de inóculos en dos sustratos. T1= Control, T2= Suelo circundante, T3= Raíz y T4= Suelo rizosférico	27
Figura 6. Número de hojas de <i>M. rupestris</i> al final del experimento en cuatro tipos de inóculos en dos sustratos. T1= Control, T2= Suelo circundante, T3= Raíz y T4= Suelo rizosférico	28
Figura 7. Biomasa de plántulas de <i>M. rupestris</i> inoculadas con tres extractos en dos sustratos. T1= Control, T2= Suelo circundante, T3= Raíz y T4= Suelo rizosférico	29
Figura 8 Plántula en fibra con suelo rizosférico.....	29
Figura 9. Plántula en turba con suelo rizosférico.....	29
Figura 10. Recolección de muestras inoculantes	40
Figura 11. Preparación de inoculantes	41
Figura 12. Siembra de plántulas.....	41
Figura 13. Sustrato fibra	42
Figura 14. Sustrato turba	42
Figura 15. Suelo rizosférico en turba.....	43
Figura 16. Suelo Circundante en turba.....	43
Figura 17. Raíz en turba	43
Figura 18. Control turba.....	43
Figura 19. Control fibra.....	44

Figura 20. Raíz fibra.....	44
Figura 21. Suelo Circundante fibra.....	44
Figura 22. Suelo Rizosférico en fibra	44
Figura 23. Suelo circundante en fibra.....	45
Figura 24. Suelo circundante en turba	45

Índice de tablas

Tabla 1. Descripción de nutrientes presentes en el sustrato	16
Tabla 2. Valores descriptivos del sustrato de fibra	17
Tabla 3. Tabla de número de plantas vivas en Turba.....	38
Tabla 4. Tabla de número de plantas vivas en Fibra.....	38
Tabla 5. Media de datos por variable altura y número de hojas acumulado en el sustrato Turba con sus tratamientos.....	39
Tabla 6. Media de datos por variable altura y número de hojas acumulado en el sustrato Fibra con sus tratamientos.....	39
Tabla 7. Medias por sustrato y tratamiento de biomasa.....	40

Agradecimientos

Primero y, ante todo, queremos dar gracias a Dios por darnos la fortaleza y sabiduría para completar este viaje. Su presencia constante ha sido nuestra guía y refugio en los momentos de incertidumbre y desafío.

A la Blga. Denisse Peña, nuestra gratitud es inmensa. Su apoyo nos ha guiado académicamente e inspirado personalmente a lo largo de este proceso de investigación. Su meticulosidad y sabiduría han sido esenciales para la culminación de este trabajo.

A la Universidad de Cuenca por abrimos sus puertas y brindarnos la oportunidad de formarnos académicamente en un ambiente de excelencia y dedicación; también a cada uno de los docentes quienes a lo largo de estos años han compartido su conocimiento, contribuyendo así a nuestro crecimiento académico y profesional.

Dedicatorias

A mi madre, la heroína de mi vida y faro de mi existencia, cuyo amor y dedicación han sido la fuente de mi fortaleza y perseverancia. Gracias mami por cada sacrificio. ¡Lo logramos!

A mis hermanos, su apoyo y amor que trasciende el tiempo y las distancias han sido esenciales en cada paso que he dado. Gracias por ser guías en los momentos más difíciles.

A todas las personas maravillosas que he encontrado en mi camino, quienes, con su amor, amistad y consejos, se han convertido en una parte fundamental de mi viaje.

Este logro no solo lleva mi nombre, sino también el de todos ustedes, quienes han sido parte esencial de esta hermosa travesía. Gracias por volar conmigo en este sueño.

Daniela Nicole Luna Avila

Dedicatorias

Este trabajo se lo dedico a mi mamá quien me ha apoyado durante cada una de las etapas de mi vida, por ser un ejemplo para seguir y mi guía cada día.

A mi padre, hermanos y abuelos por darme la mano para levantarme contra las adversidades presentes en el camino, por sus buenos consejos y apoyo moral cuando más lo necesitaba.

A todos mis familiares que se encuentran presentes en esta vida terrenal y a los que no también por aportar cada día ese granito de arena para formarme como un buen profesional y una persona de bien.

A mis amigos que he ido encontrando en el camino porque sin ellos la vida estudiantil no hubiera tenido el mismo brillo y goce.

El alcanzar este logro le pertenece a cada persona que ha aportado algo positivo a mi vida.
Gracias por enseñarme a volar y a nunca dejar de soñar.

Luis Ángel Mendieta Gutiérrez

1. Introducción

Macleania rupestris, localmente conocida como joyapa, es una especie de arbusto nativo de los Andes Sudamericanos que crece en Ecuador (Luteyn, 2021). A pesar de ser una planta con propiedades medicinales y gastronómicas (Rosati, 2019), su propagación ha sido limitada, en parte, por la falta de conocimiento sobre las interacciones entre los microorganismos del suelo y las raíces de la planta (Jara et al., 2012).

El cultivo de plantas andinas como la joyapa ha sido una fuente importante de ingresos y alimentos para la población indígena de los Andes sudamericanos durante siglos. Aunque la joyapa es valorada por su sabor y valor nutricional, su producción ha sido limitada debido a la falta de conocimiento sobre su propagación y su adaptación a diferentes ambientes (Erazo et al., 2018). Los microorganismos presentes en las raíces son un factor importante en la propagación y el crecimiento de las plantas, y se ha demostrado que los microorganismos benéficos pueden mejorar la producción de cultivos (Khan et al., 2018). En particular, los microorganismos del suelo y las raíces generan varios beneficios en torno a la salud de la planta, entre los cuales están: la protección contra enfermedades, la tolerancia al estrés abiótico y el aumento de la absorción y disponibilidad de nutrientes (Hartmann et al., 2015).

El suelo alberga una abundante comunidad microbiana entre 10^9 y 10^4 microorganismos por gramo de suelo (Rodríguez, 2013). Estos microorganismos se ubican en las raíces y el suelo circundante, alimentándose de exudados de las raíces (Massenssini et al., 2014). Las raíces producen azúcares y ácidos orgánicos que constituyen hasta el 40% de los fotosintatos de la planta (Nelson, 2004). Los microorganismos promotores del crecimiento vegetal (MPCV) tienen un impacto crucial, estimulando el crecimiento, mejorando la tolerancia al estrés, nutriendo a las plantas y combatiendo patógenos (Cruz et al., 2021). Además, otros organismos degradan lignina y celulosa, aumentando la disponibilidad de nutrientes y facilitando la fijación de nitrógeno. Estas interacciones son esenciales en la salud y desarrollo de las plantas en el suelo (Cruz et al., 2017).

La investigación sobre los microorganismos asociados con la joyapa es limitada, sin embargo, algunos estudios han identificado bacterias benéficas en la raíz de la planta que pueden mejorar su crecimiento y resistencia a enfermedades (Rodríguez et al., 2021).

Un estudio reciente en Ecuador reportó que la inoculación de microorganismos benéficos mejoró significativamente la altura, el diámetro del tallo y la biomasa de plantas de joyapa (Guerra et al., 2021). Lo que podría ser de utilidad para la producción de biofertilizantes.

Ocampo, 2008 sugiere que los biofertilizantes que contienen microorganismos beneficiosos pueden ser una herramienta importante para mejorar la propagación y el crecimiento de *M. rupestris*.

La investigación sobre las interacciones entre los microorganismos del suelo y las raíces de plantas de joyapa, podría aportar al sistema de propagación y posteriormente al cultivo de esta especie con potencial de uso sustentable en las comunidades andinas.

En este marco de referencia, el objetivo de la propuesta de estudio es generar conocimiento sobre el efecto de sustratos y la influencia de microorganismos presentes en suelo y raíces de joyapa sobre el desarrollo de plántulas de joyapa germinadas *in vitro*.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

- Evaluar el efecto de inoculantes de suelo nativo y raíces de *Macleania rupestris* en dos sustratos para el crecimiento de plántulas de la misma especie.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de tres tipos de vehículos de inoculación de microorganismos (raíces, rizosfera y suelo circundante) en el desarrollo de *M. rupestris*.
- Evaluar el efecto del tipo de sustrato en el desarrollo de plántulas de *M. rupestris* inoculadas con raíces, rizosfera y suelo nativo circundante.

3. Revisión de literatura

3.1. Descripción y distribución de la familia Ericaceae

La familia Ericaceae está principalmente distribuida al noreste de Sur América en el Neotrópico en bosques montanos húmedos y fríos ubicados entre los 1500 y 3000 m s.n.m en países como Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela (Dávila, 2001). Es una de las familias con alto endemismo en Ecuador, hay 22 géneros y 221 especies de las que 98 son endémicas, es decir, el 44 % de las mismas (Pedraza-Peñalosa et al., 2017).

La mayoría de Ericaceae dependen de agentes externos para la polinización y dispersión de semillas, con recompensas de néctar, polen y/o frutos nutritivos. Las corolas tubulares largas que poseen dan esa recompensa y ayudan a proteger el néctar para los no polinizadores (Luteyn, 2021).

La importancia de los arbustos ericáceos está en que añaden hongos micorrízicos beneficiosos a los suelos; por lo tanto, las diversas especies nativas de Ericaceae que actúan como pioneras se consideran cada vez más como especies beneficiosas para el uso de la tierra, la ecología de restauración y la regeneración de la vegetación, especialmente en áreas de perturbación antropogénica, donde la pérdida de biodiversidad está creando serios problemas (Bedoya, 2007; Salamanca & Camargo, 2000).

Además, las especies nativas de esta familia han sido consideradas como alimento para ciertas comunidades andinas, como es el caso de (Kichwa de la Sierra-Cañar,) quienes utilizaban el fruto y la flor para la elaboración de mermeladas de manera artesanal (Evans & Vander Kloet, 2010). Por otro lado, en la actualidad se han investigado sus compuestos antioxidantes, entre ellas *Anthopterus wardii*, *Cavendishia grandifolia*, *Cav. isernii*, *Ceratostema silvicola*, *Disterigma rimbachii*, *Macleania coccoloboides*, *M. cordifolia*, *M. rupestris* y *Sphyrospermum buxifolium*: tienen un alto contenido de antioxidantes naturales y se les ha llamado “superfrutas” debido a sus propiedades bioactivas y altos niveles de compuestos antioxidantes (Ballington et al., 1993).

3.2. Descripción de la Joyapa (*Macleania rupestris*)

3.2.1. Taxonomía

Macleania rupestris también conocida como joyapa, uva camarona, ilucho y gualicón en Ecuador, pertenece a la division Magnoliophyta, orden Ericales y familia de las Ericaceae (Vargas & Suquillo, 2022).

3.3. Descripción morfológica

La joyapa es un arbusto perenne que alcanzan de 2.3 a 2.5 m de altura, ramificado desde la base. Hojas juveniles rojas y maduras de color verde claro, alternas, lustrosas y carnosas, simples y ovadas coriáceas. Flores rojas axilares, urceoladas, succulentas. Frutos en bayas redondas a oblongas, moradas con múltiples semillas, con la cicatriz de los verticilos florales en el polo externo. Raíz delgada y simple, presentando algunas veces una estructura lignificada semirredonda, la cual sirve para su propagación (Guzmán-C et al., 2009).

3.4. Sustratos usados para siembra de joyapa

La joyapa al pertenecer a la familia ericácea necesita de un sustrato aireado y poroso para facilitar el desarrollo de múltiples raicillas absorbentes, necesarias para mantener una buena asimilación de agua y nutrientes. Por esta razón se han seleccionado para el estudio los sustratos fibra y turba mezclada con perlita, debido a que estos evitan que el sustrato con el paso del tiempo se apelmace y se encharque (Redagráfica, 2021).

3.4.1. Turba de germinación + perlita

El sustrato mencionado está constituido a base de turba de germinación y crecimiento para plántulas en bandejas, también contiene vermiculita, macronutrientes y micronutrientes, caldolomita y calcita como agente humectante, y tiene un pH de 6.5 (Floragard, 2015).

Tabla 1. Descripción de nutrientes presentes en el sustrato

Composición turba (mg/l)		
N-NO3	Nitrógeno	40-100
P-PO4	Fósforo	5-15
K	Potasio	35-75
Ca	Calcio	25-75
Mg	Magnesio	20-40
Fe	Hierro	0,7-2
Zn	Zinc	< 0,2
Cu	Cobre	< 0,3
Mn	Manganeso	< 0,6
B	Boro	< 0,6

3.4.2. Fibra

Este sustrato llamado fibra está constituido por turba rubia poco descompuesta recomendada para cultivo de arándanos y bayas puesto que tiene un pH ácido de 5.6,

esta nutrido con sustancias minerales, carbonato cálcico y humectante instant plus (Floragard, 2015).

Tabla 2. Valores descriptivos del sustrato de fibra

Composición fibra	
pH (CaCl ₂)	5,6
Salinidad (g/l)	0,8
N (CaCl ₂)	140 mg/l
P ₂ O ₅ (CAL)	80mg/l
K ₂ O (CAL)	190mg/l
Estructura	fin
Proporción NPK	1-0,6-1,4
Fertilizante PG-MIX 18-10-20	0,8 kg/m ³

3.5. Microorganismos en el desarrollo de joyapa

El suelo se define como un estrato físico donde se desarrolla la vida terrestre, además de presentar diversos servicios como ser el medio de desarrollo de las plantas, regular flujos de agua y complementar ciclos de descomposición y liberación de nutrientes (Stott y Taylor, 2016), también cumple varios procesos biológicos como son mitigación de alteraciones exógenas, promoción de crecimiento vegetal, efectos de biocontrol, ciclaje de nutrientes, degradación de compuestos nocivos, entre otros (Delgado-Baquerizo et al., 2016). Estas actividades y funciones previamente descritas son realizadas por los microorganismos o microbiota del suelo tales como hongos, bacterias, nematodos, algas, virus y protozoarios (Aislabie y Deslippe, 2013). Se ha realizado estudios donde se ha determinado que el suelo alberga cerca de 10^9 y 10^4 microorganismos por gramo de suelo (Rodríguez, 2013). Estos microorganismos se alojan cerca de la zona radicular de la planta ya sea en la raíz misma o en el suelo de alrededor ya que se alimentan de los exudados que esta produce, con la finalidad de poder cumplir sus actividades metabólicas (Massenssini et al., 2014). Dentro de las actividades que cumple la raíz esta la producción de azúcares, mucigel y ácidos orgánicos, mismos que conforman hasta el 40% de los fotosintatos de la planta (Nelson, 2004), esto cambia la composición del suelo cercano a la raíz creando condiciones para la existencia de grandes poblaciones de micoorganismos (Whipps, 2001).

Existen dos grupos de microorganismos que promueven el crecimiento vegetativo denominados microorganismos promotores de crecimiento vegetal (MPCV) y hongos micorrizicos arbusculares (HMA) (González et al., 2018). Estos grupos de microorganismos

pueden cumplir distintas interacciones complejas según los consorcios que se formen, pudiendo generar efectos simbióticos, antagonísticos o simplemente no tener ningún efecto (Cano, 2011). Los MPCV cumplen con funciones directas e indirectas en el desarrollo vegetativo de la planta generando efectos de crecimiento acelerado, tolerancia a estrés biótico y abiótico, facilitan la nutrición y antagonizan fitopatógenos (Cruz et al., 2021). Las rizobacterias aprovechan las condiciones del microambiente generado por la planta sin formar nódulos en las raíces, denotando así una simbiosis asociativa (Loredo et al., 2004). Dentro del grupo de MPCV se encuentran: *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Variovorax*, *Klebsiella*, *Burkholderia*, *Azospirillum*, *Serratia*, *Azotobacter* y *Trichoderma* (Dohrmann et al., 2013).

Existen microorganismos promotores de crecimiento vegetal que facilitan la elongación y crecimiento de los tejidos de la planta ya sea por efectos de fijación biológica de nitrógeno atmosférico, producción de fitohormonas, síntesis de sideróforos y solubilización de fosfatos (Rodríguez et al., 2018). También existen otros organismos que son encargados de degradar la lignina y la celulosa, que a su vez aumenta la disponibilidad de nutrientes gracias a la degradación de materia vegetal (Marentes et al., 2012); además están los organismos que cumplen actividades simbióticas conjuntas facilitando la mineralización de la materia orgánica y la fijación y disponibilidad de nitrógeno degradado (Cruz et al., 2017). Un estudio realizado por Gonzáles & Fuentes (2017) determinó que las especies *Microbacterium sp.* y *Bacillus mycoides* aceleraron los procesos germinativos de semillas y al mismo tiempo favorecieron el desarrollo y rendimiento de producción de plantas de arroz y arveja.

Los microorganismos antagonistas son generalmente hongos y bacterias, que tienen la capacidad de controlar ya sea la infestación o el ataque de otros organismos fitopatógenos en gran diversidad de cultivos (Blanco & Castro, 2021). Las bacterias del género *Bacillus* son ampliamente estudiadas debido a su capacidad antagonística contra gran variedad de fitopatógenos (Pozo et al., 2007). En un estudio realizado por De Dios Avila et al. (2020) en los suelos rizosféricos de México se determinó que las especies *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Burkholderia cepacia* y *Bacillus sp.* cumplen con antagonismo frente a *Phytophthora cinnamomi*, *Fusarium oxysporum* y *Colletotrichum sp.*

La utilización de bacterias como promotoras de crecimiento vegetal puede ser significativo en la sustentabilidad de agroecosistemas (Jaramillo, 2012), ya que estos microorganismos pueden usarse como una alternativa eficaz frente a los agroquímicos, ya que protegen y mitigan el impacto sobre el medio ambiente (Agris, 2005; Boukaya et al., 2018). También pueden suplir varias necesidades nutrimentales y evitar la salinización de los suelos. Pueden ser empleados como biofertilizantes por su capacidad de colonizar la rizosfera de las plantas,

dado que una vez que fueron aplicados pueden vivir en simbiosis con las especies vegetales (Moreno, García, Reyes, Jesús, & Cano, 2018). La simbiosis que existe entre la planta y los microorganismos se puede realizar desde el inicio de la etapa fenológica de una planta siendo esta la semilla (Correa, 2016). Es importante recalcar que el uso de biofertilizantes es una gran alternativa al uso de fertilizantes de origen químico (Antón, 2004). Los precios elevados y el impacto que causan en el medio ambiente los productos químicos han llevado a los países subdesarrollados cada día a tener más interés en los biofertilizantes (Welbaum, Sturz, Dong, & Nowak, 2004).

3.6. Estudios referentes a *M. rupestris*

M. rupestris tiene diversas limitantes tanto de productividad como de propagación, debido a la falta de conocimiento acerca de la relación de los microorganismos y el conjunto suelo-raíz (Bravo et al., 2018). Identificar microorganismos promotores de crecimiento vegetal a partir de raíces de joyapa es una interrogante de suma importancia debido a que los mismos pueden tener repercusiones tanto benéficas como perjudiciales basados en caracteres antagonicos o simbióticos en la producción y crecimiento de los cultivos.

La caracterización de microorganismos promotores del crecimiento vegetal es un tema de investigación en constante desarrollo, y en particular, se ha investigado su presencia en las raíces de la especie vegetal *Macleania rupestris*, comúnmente conocida como joyapa. Un estudio realizado por Pérez et al. (2018) analizó el microbiota de las raíces de joyapa y encontró una alta diversidad de microorganismos promotores del crecimiento vegetal. Los autores identificaron especies bacterianas beneficiosas, como *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens*, que han sido ampliamente estudiadas por su capacidad para mejorar el crecimiento y la salud de las plantas.

Otro estudio llevado a cabo por Ramírez et al. (2019) se centró en la identificación de hongos promotores del crecimiento en las raíces de joyapa. Los resultados revelaron la presencia de hongos del género *Trichoderma*, reconocidos por su capacidad para estimular el crecimiento de las plantas mediante la producción de hormonas vegetales y la promoción de la absorción de nutrientes. Además, un trabajo realizado por Gómez et al. (2021) aplicó técnicas de secuenciación de nueva generación para caracterizar la comunidad microbiana de las raíces de joyapa. Los resultados destacaron la presencia de bacterias y hongos beneficiosos, incluyendo especies de los géneros *Azospirillum* y *Glomus*, conocidos por su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico y mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

En conjunto, estos estudios concluyen que las raíces de *Macleania rupestris* albergan una diversidad de microorganismos promotores del crecimiento vegetal, tanto bacterias como

hongos, que pueden tener un impacto positivo en el crecimiento y desarrollo de esta especie vegetal. Estos resultados respaldan la importancia de investigar y aprovechar la interacción entre las plantas y sus microorganismos asociados para mejorar la productividad y sostenibilidad de los cultivos.

Los microorganismos que favorecen el crecimiento han demostrado mejorar notablemente tanto el desarrollo como el rendimiento de las plantas. Los hallazgos de (Bonilla et al., 2021) indican que las plantas tratadas con estos microorganismos crecieron un 30% más en altura en comparación con el grupo control.

En apoyo a los hallazgos del estudio de (Bonilla et al., 2021) un metaanálisis reciente (García et al., 2021) sugiere que los microorganismos promotores de crecimiento tienen un impacto positivo en las especies vegetales. Según los investigadores, los datos obtenidos de varios estudios muestran un aumento del 20% en la biomasa de las plantas tratadas con estos seres vivos beneficiosos. Por el contrario, otro metaanálisis (Archilla et al., 2019) en plantas de *Matricaria chamomilla* L. contradice estos resultados al concluir que no encontraron diferencias significativas en el crecimiento de las plantas entre los tratamientos con microorganismos y el grupo control.

Dado que la planta de joyapa no ha sido altamente estudiada con fines comerciales se desea evaluar dos sustratos de siembra para el desarrollo de plántulas, además de encontrar el mejor complemento de microorganismos benéficos necesarios para el desarrollo óptimo de la planta y adaptabilidad al sustrato de cultivo.

Luego de realizado el estudio los resultados favorables serán empleados en la elaboración de sustratos de siembra con inoculaciones de microorganismos presentes en el suelo de plantas de joyapa en estado natural en las zonas de los Andes Ecuatorianos; estos sustratos serán empleados como un método estándar de siembra para las futuras investigaciones referente a la planta, además a futuro se podría usar el sustrato para propagar masivamente la joyapa con fines comerciales, mejorando así la productividad y la capacidad adaptativa a condiciones distintas al medio natural en que se desarrollan.

Como investigaciones futuras a partir de este trabajo se pueden realizar estudios de metagenómica de raíces y suelo cercano a plantas de joyapa con la finalidad de evidenciar los microorganismos que se encuentran presentes en el medio y así comprender mejor la interacción planta-suelo-microorganismos. Los resultados obtenidos pueden servir para joyapa; sin embargo, también pueden generar beneficios en cultivos similares a esta especie como bayas y arándanos.

4. Metodología

La investigación se desarrolló en un invernadero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca.

4.1. Metodología para el primer objetivo específico: Evaluar el efecto de tres tipos de vehículos de inoculación de microorganismos (raíces, rizosfera y suelo circundante) en el desarrollo de *M. rupestris*.

Se recolectó muestras de suelo circundante nativo, para ello se usó la metodología de Gelvez et al., (2020), es decir, del sitio seleccionado se escogieron 5 plantas de joyapa al azar separadas entre ellas para proceder a tomar 2 submuestras de 50 g por arbusto, para homogeneizarlas y obtener una muestra de 500 g aproximadamente.

Para las muestras de suelo rizosférico se utilizaron los sitios donde se extrajeron las muestras de suelo circundante, en este caso el suelo fue removido hasta encontrar raíces finas (menores a 1 mm de diámetro) a las que se les procedió a hacer un lavado (González et al., 2021); es decir se retiró todo el suelo pegado a ellas, hasta obtener aproximadamente 20 g de suelo rizosférico por planta, para al momento de homogenizar contar con alrededor de 100 g de muestra (Bautista, 2022).

Finalmente, las raíces que se tomaron para extraer el suelo rizosférico fueron usadas como inoculantes en los tratamientos (T5 y T8 descritos posteriormente).

A continuación, se describen los diferentes tratamientos a aplicar:

- T1: Sustrato fibra de coco (Control).
- T2: Sustrato turba (Control).
- T3: Sustrato fibra de coco + suelo circundante.
- T4: Sustrato fibra de coco + suelo rizosférico.
- T5: Sustrato fibra de coco + raíz picada.
- T6: Sustrato turba + suelo circundante.
- T7: Sustrato turba + suelo rizosférico.
- T8: Sustrato turba + raíz picada.

Una vez obtenidos los 3 vehículos de inoculación se tomó 1 g de cada uno de ellos para ser inoculados en contacto con la raíz de las plántulas de *Macleania rupestris* (Habte & Osorio, 2001).

4.2. Metodología para segundo objetivo específico: Evaluar el efecto del tipo de sustrato en el desarrollo de plántulas de *M. rupestris* con los diferentes vehículos inoculantes (raíces, rizosfera y suelo circundante)

Los 3 vehículos de inoculación fueron puestos en cada uno de los tratamientos (sustrato turba y sustrato fibra) se usó 1 g de estos para ponerlos en contacto con la raíz de las plántulas de *Macleania rupestris* (Habte & Osorio, 2001).

La toma de datos para la variable altura se realizó con un calibrador y el número de hojas de manera visual cada 15 días. En cuanto a la variable biomasa total, se realizó una toma de datos al finalizar el ensayo, a los cuatro meses, para ello se tomaron 3 plántulas al azar de cada tratamiento mismas que en laboratorio se extrajeron del sustrato quedando a raíz desnuda despojadas de cualquier tipo de material en sus raíces; se registraron número de raíces principales y la suma de sus longitudes y su peso fresco en mg, para ser llevados a la estufa por 24 h y finalmente tomar su peso seco.

Con los datos obtenidos se efectuaron comparaciones y análisis estadísticos para definir, si el sustrato usado tiene un efecto en las variables evaluadas.

4.3. Diseño experimental

El experimento se llevó a cabo en un invernadero con un diseño completamente al azar en arreglo factorial 4 (inoculante) x 2 (sustratos) resultando en 8 tratamientos como se indicó anteriormente. Se realizaron 20 repeticiones por tratamiento, teniendo como unidad experimental 1 plántula de joyapa. Las plántulas fueron medidas individualmente al momento de la siembra, registrándose altura total y número de hojas. En total el experimento contó con 160 plántulas (8 tratamientos x 20 repeticiones) que estuvieron monitoreadas permanentemente por cuatro meses.

4.4. Análisis estadístico

En el análisis se emplearon las siguientes variables: altura total, número de hojas y biomasa total (aérea y radicular). Los datos resultantes a la depuración (por muerte de plantas) fueron sometidos a supuestos de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk, obteniendo una no normalidad en el conjunto total de datos, mismos que se usaron para un análisis descriptivo del comportamiento de las plántulas en el periodo de 4 meses. Por otro lado, para hacer comparaciones entre los tratamientos se tomaron en cuenta los valores de la última toma de datos para la variable número de hojas y biomasa, mientras que, para altura se usó el dato de la diferencia de altura entre la última y primera toma de datos; a los que se sometió a la misma prueba de normalidad, siendo estos también no normales, dado esto se aplicó una prueba no paramétrica la Prueba de U de Mann-Whitney al 5 % de efectividad, todo esto usando el software R.

5. Resultados

5.1. Número de plantas vivas por tratamiento en los diferentes sustratos (Turba y Fibra)

De manera descriptiva (Fig. 1) para cada uno de los tratamientos propuestos en el sustrato de turba, se demuestra el número de unidades experimentales con las que se trabajó para sacar las medias de acuerdo con el número de día de toma de datos.

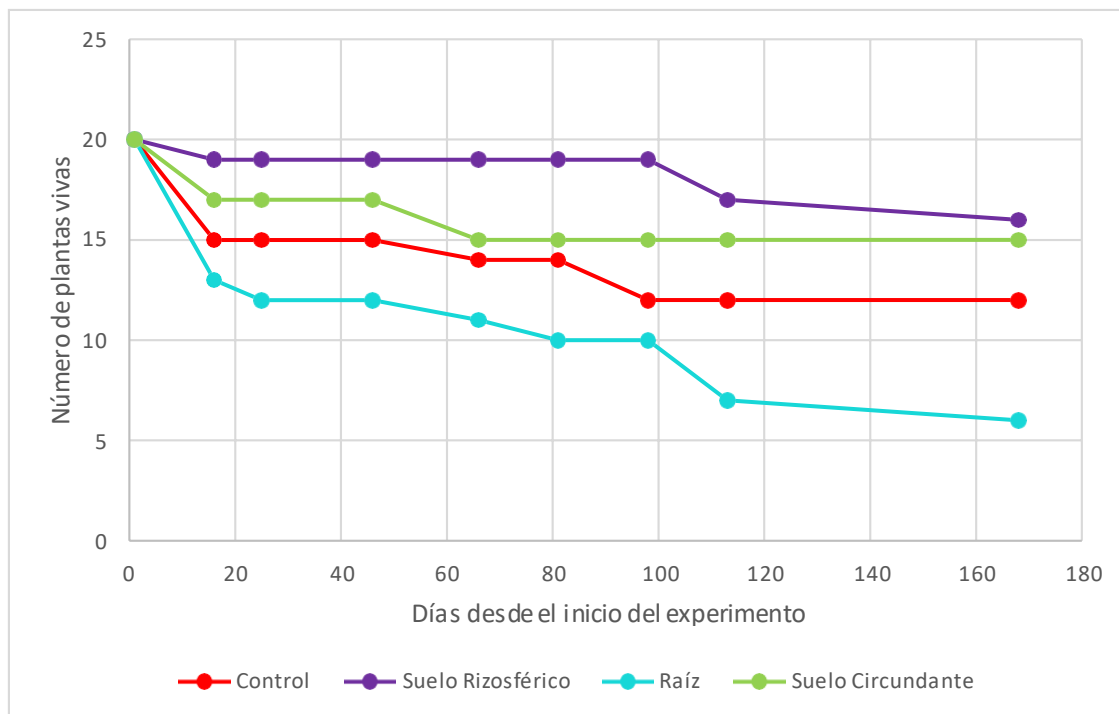


Figura 1. Supervivencia de plántulas de *M. rupestris* en sustrato turba.

Los valores de supervivencia en el tratamiento de raíz registran un menor índice de supervivencia, en comparación con los demás tratamientos incluyendo al control mientras que el tratamiento en que se registró la mayor supervivencia fue el de suelo rizosférico.

De la misma manera, en la Figura 2 se presenta la supervivencia de las plántulas con los mismos tratamientos en el sustrato de fibra.

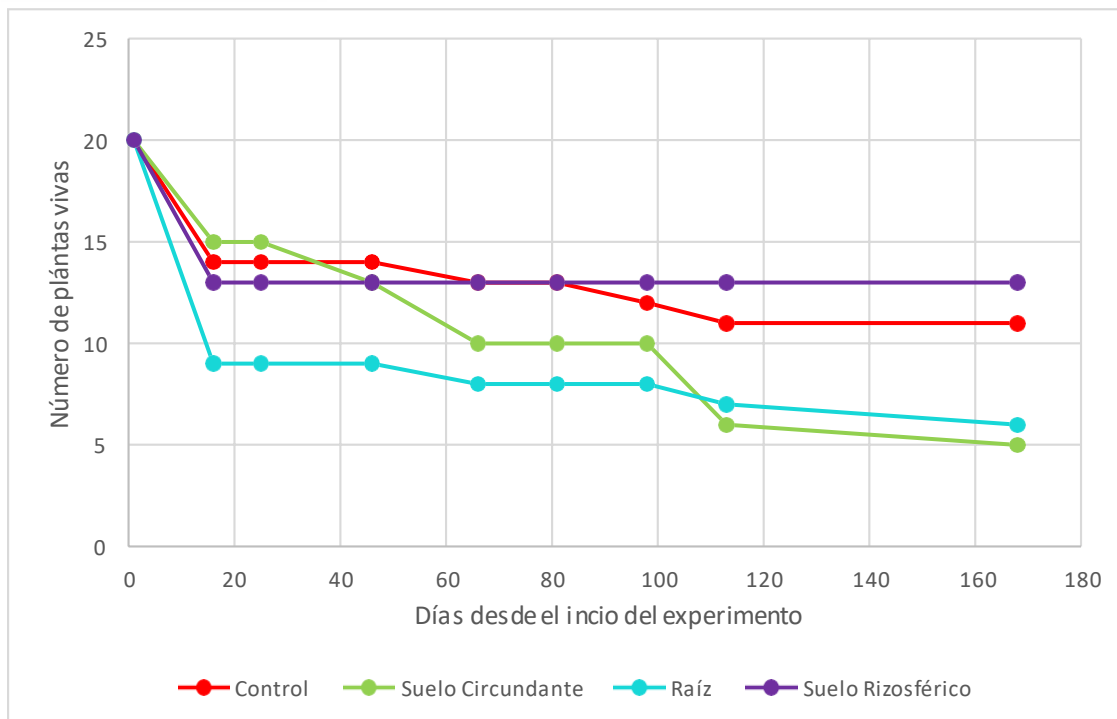


Figura 2. Supervivencia de plántulas de *M. rupestris* en el sustrato de fibra.

Los valores para los inoculantes de suelo circundante y raíz muestran un menor índice de supervivencia, mientras que los otros dos tratamientos incluyendo el control denotan valores superiores, similares entre ellos.

5.2. Evolución de altura y número de hojas durante el estudio

Los datos obtenidos al registrar las medias en el sustrato de turba para cada inoculante han evidenciado en la variable altura que el tratamiento de suelo circundante presenta una media mayor de 19,3 mm en comparación a los tres tratamientos restantes por una variación mayor a 5 mm. En cambio, en sustrato de fibra la media de altura superior corresponde al tratamiento control con valores de 18,4 mm seguido de suelo circundante que presenta 15,3 mm y los inoculantes restantes son equivalentes a valores de 14 mm (Fig. 3).

Por otro lado, la variable número de hojas acumuladas con el sustrato turba más inoculante suelo circundante muestra un valor promedio de 4,4 hojas, siendo un valor similar a todos los tratamientos. En fibra el inoculante suelo circundante y control tienen un promedio de valores igual a 5,1 hojas, mientras que suelo rizosférico y raíz cuentan con valores de 4,3 y 4,1 hojas respectivamente (Fig. 4).

En la Figura 3 se muestra la evolución de la altura de plantas de *M. rupestris* en cada uno de los 8 tratamientos evaluados. Los datos denotan una evolución similar en cuanto a su crecimiento.

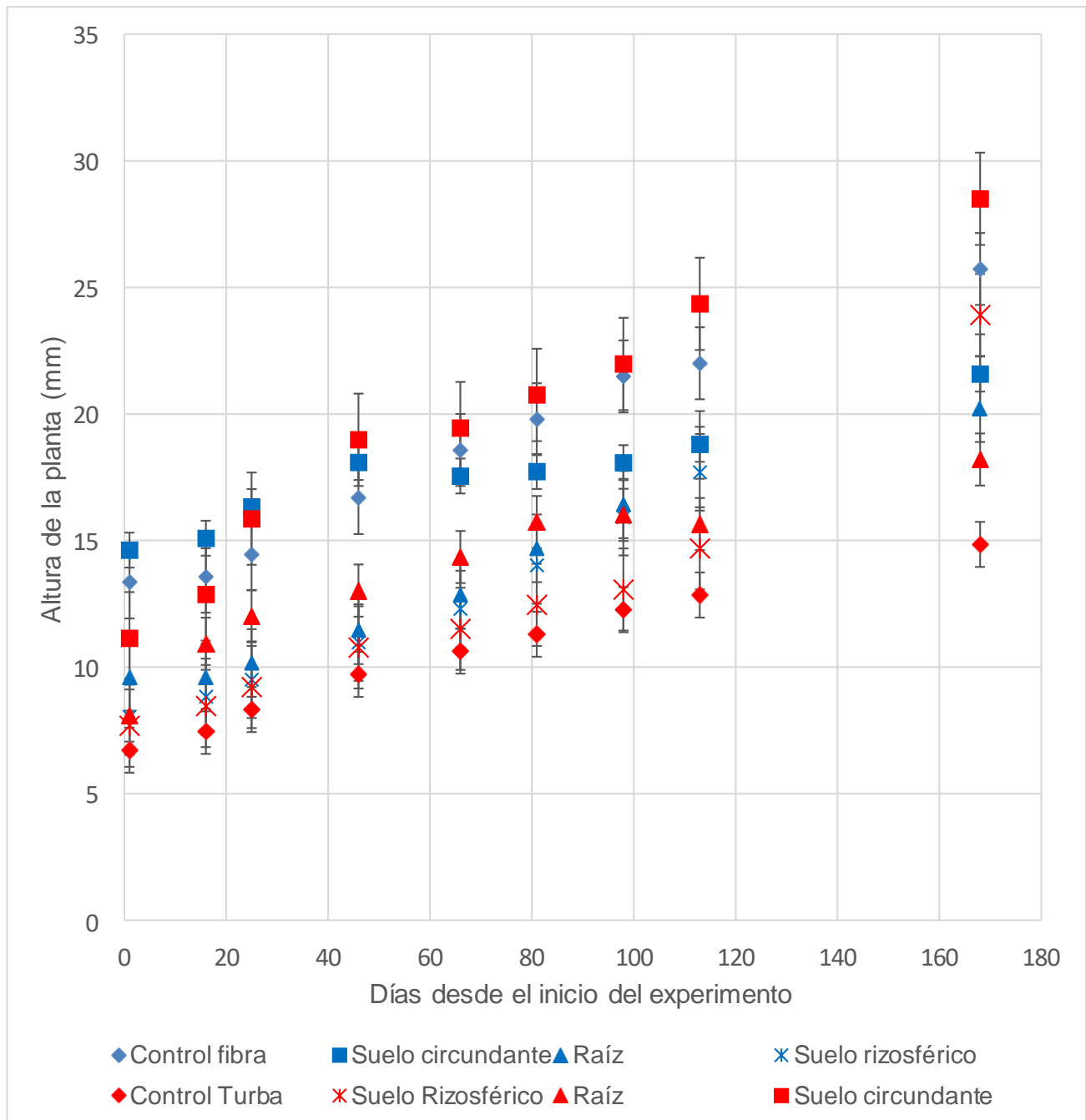


Figura 3. Evolución de la altura de *M. rupestris* durante el periodo de estudio que comprende 9 fechas de recolección de datos.

Se muestra el número de hojas acumulado en plantas de *M. rupestris* en cada uno de los 8 tratamientos, en donde cada cierto tiempo se evidencia una reducción de hojas que puede deberse a la exclusión de algunas repeticiones del set de datos, debido a enfermedades o daños por manipulación (Fig. 4).

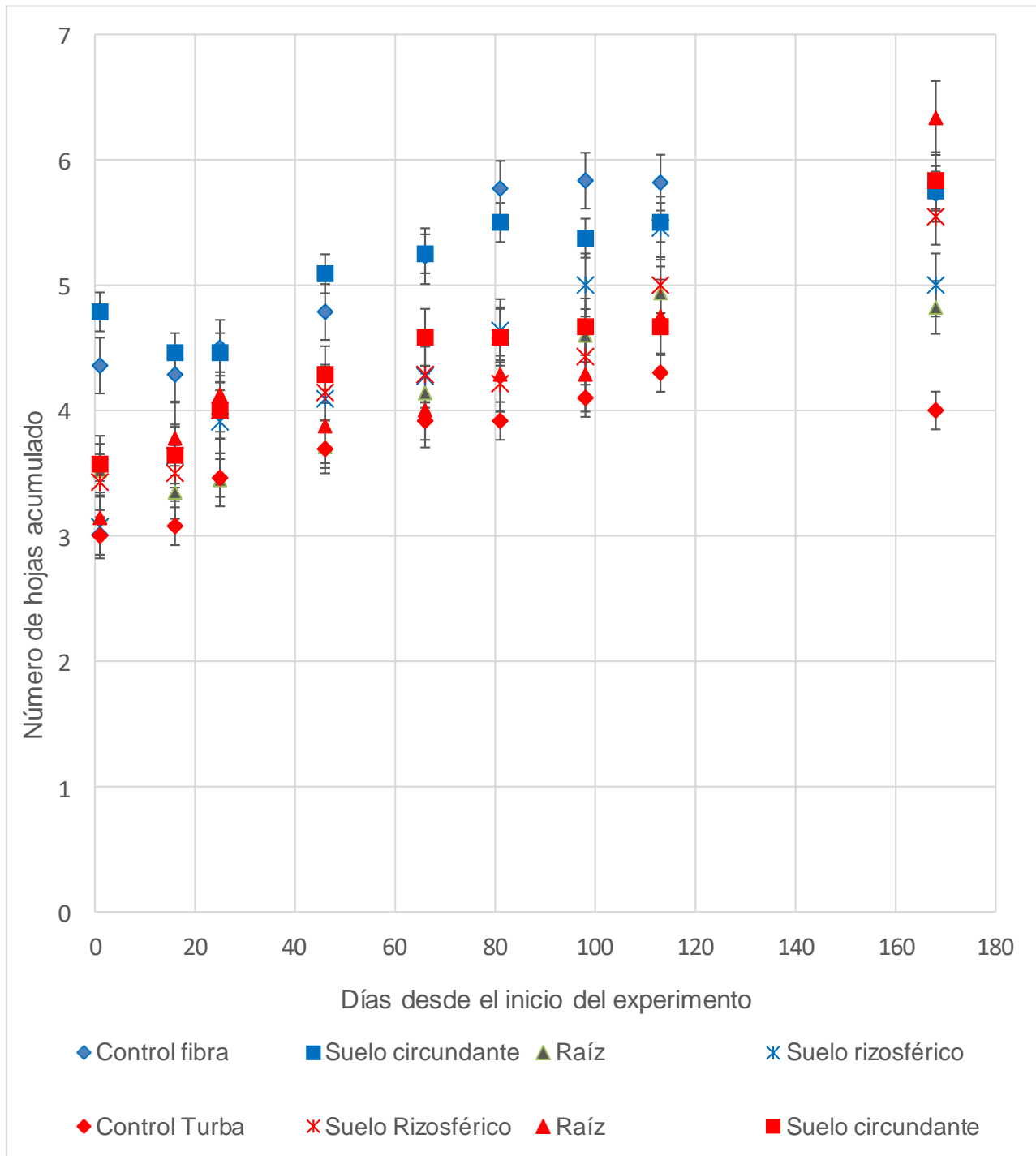


Figura 4. Evolución del número de hojas acumuladas de *M. rupestris* durante el periodo de estudio que comprende 9 fechas de recolección de datos.

La altura de la planta mantuvo una tendencia creciente a lo largo del experimento (Fig. 3), mientras que el número de hojas también se incrementó, aunque más lentamente hacia el final del experimento (Fig. 4). En el caso del número de hojas en las primeras semanas el gráfico registra una pequeña disminución que probablemente se debe a un artefacto de cálculo debido a que algunas plantas murieron al iniciar el experimento (Figuras 1 y 2) por lo que, como ya se mencionó antes, el número de plantas usado para calcular los promedios para esta variable fueron diferentes en cada semana.

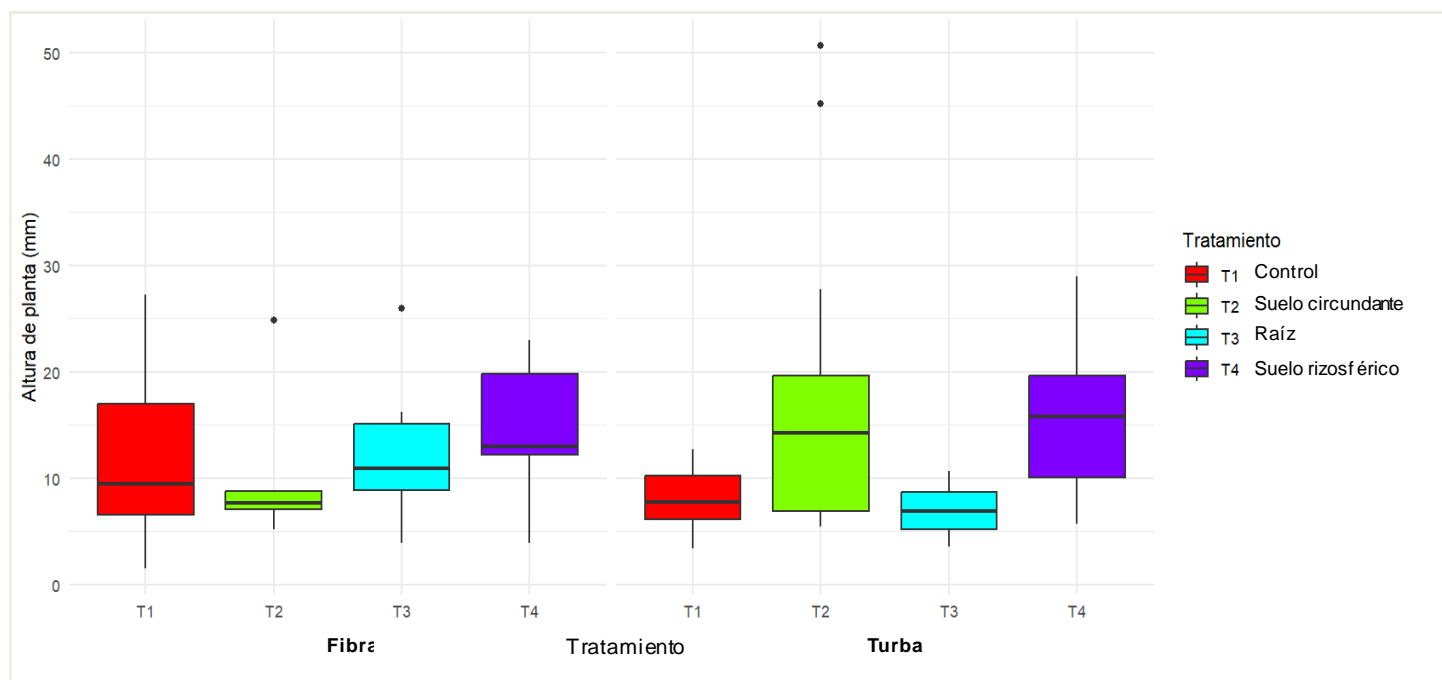


Figura 5. Diferencia de altura de *M. rupestris* entre el final y el inicio del experimento en cuatro tipos de inóculos en dos sustratos.

En el análisis de los datos obtenidos en la variable altura, se identifican valores atípicos dentro del tratamiento T2 (suelo circundante) y T3 (raíz) aplicados sobre el sustrato de fibra. Específicamente, se registraron anomalías en los valores de altura con un máximo de 25 mm aproximadamente en los dos tratamientos. Suelo circundante también muestra las menores alturas y variabilidad al contrario de T1 (control) y T4 (suelo rizosférico) que tiene una variabilidad alta y alturas medias superiores. Por otro lado, en el sustrato turba los tratamientos T2 (suelo circundante) y T4 (suelo rizosférico) destacan por tener mayores medianas y mayor variabilidad en comparación con T1 (control) y T3 (raíz). En general, las alturas de las plantas son mayores en el sustrato de turba en comparación con el sustrato de fibra, especialmente en los tratamientos suelo circundante y suelo rizosférico.

Esta variabilidad observada podría atribuirse a diferentes factores externos, como contrastes en la intensidad lumínica recibida por las plántulas o probables errores en la manipulación

durante el experimento. A pesar de estas observaciones, el análisis estadístico no reveló diferencias significativas entre los tratamientos, sugiriendo que las fluctuaciones detectadas podrían ser incidentales más que indicativas de efectos del tratamiento o el sustrato.

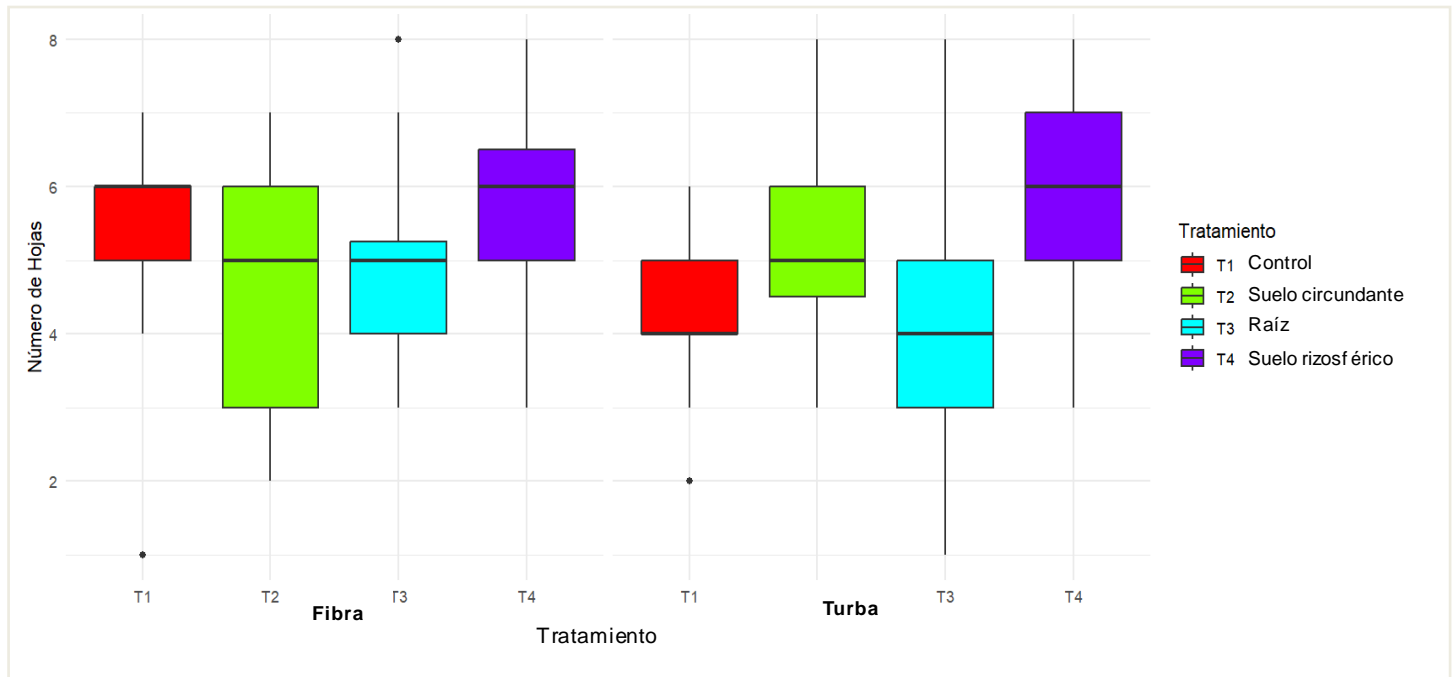


Figura 6. Número de hojas de *M. rupestris* al final del experimento en cuatro tipos de inóculos en dos sustratos.

En el análisis de la variable número de hojas, la mediana de los tratamientos muestra una centralidad consistente con ciertas variaciones en los valores máximos y mínimos como se revela en los valores atípicos de los tratamientos en los sustratos. Particularmente, en el tratamiento T1 (control) del sustrato fibra que presenta un valor mínimo de aproximadamente 1,5 hojas, mientras que, T3 (raíz) exhibe el valor atípico máximo de 8 hojas. T1(control) y T2 (suelo circundante) presentan mayor variabilidad, mientras que T3 (raíz) y T4 (suelo rizosférico) muestran una distribución más homogénea. En turba, T1 (control) también muestra un valor mínimo de 2 hojas. Estos valores atípicos indican desviaciones significativas de la distribución general de los datos dentro de sus respectivos tratamientos. Por otro lado, el tratamiento T3 (raíz) en turba muestra homogeneidad en la distribución del numero de hojas, como se observa en la cobertura completa del rango por los bigotes del boxplot.

Curiosamente, las medianas para T4 (suelo rizosférico) en ambos sustratos, turba y fibra, son idénticas, esta observación es crucial y apunta a la ausencia de diferencias estadísticas significativas en el número de hojas entre los tratamientos analizados, sugiriendo que las condiciones experimentales no han tenido un impacto diferencial marcado en este aspecto del crecimiento vegetativo. Esta consistencia en las medianas refuerza la conclusión de que,

aunque hay desviaciones individuales como valores atípicos, los tratamientos en general no difieren significativamente en términos de desarrollo foliar.

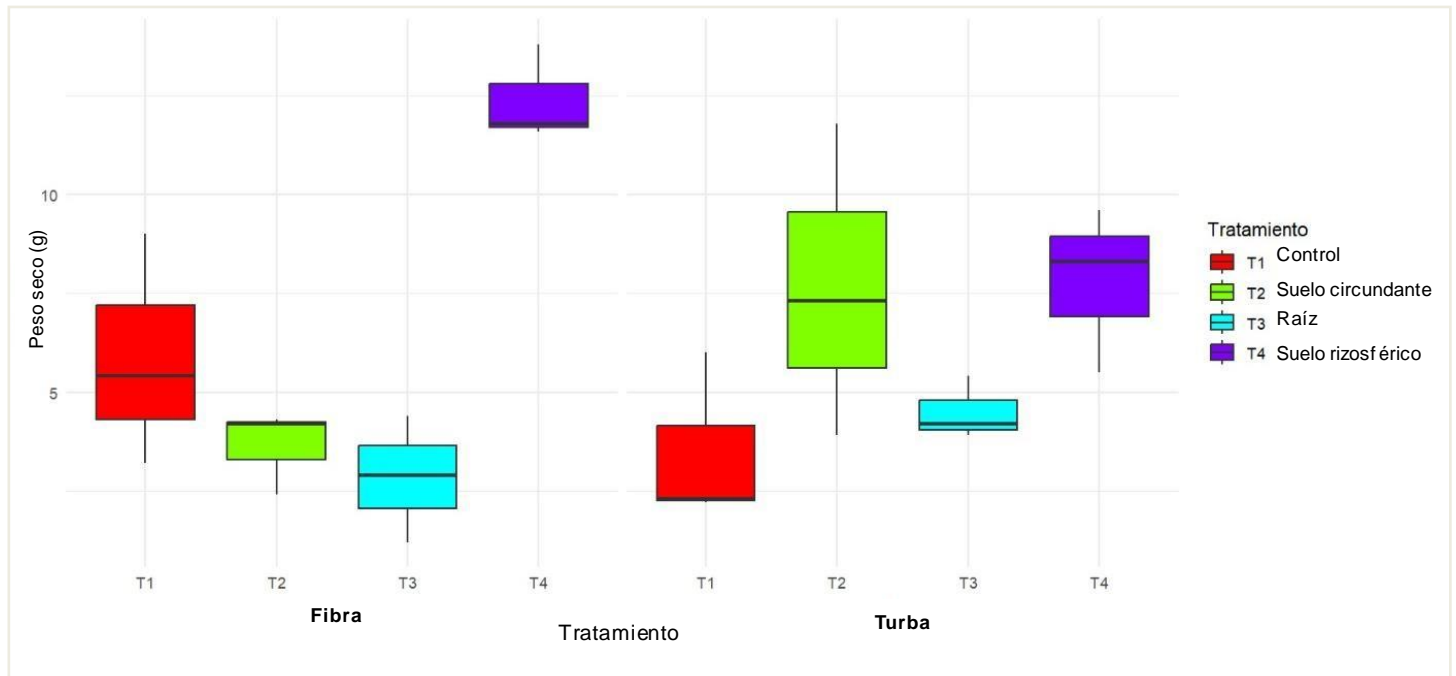


Figura 7. Biomasa de plántulas de *M. rupestris* inoculadas con tres tratamientos en dos sustratos.

El análisis de boxplot para biomasa no revela valores atípicos en los diferentes tratamientos con cada sustrato; sin embargo, en el sustrato fibra podemos observar una diferencia significativa en la comparación entre T1 (control) y T4 (suelo rizosférico), mientras que, los tratamientos restantes no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí, en contraste, T2 (suelo circundante) en sustrato de turba exhibe una considerable variabilidad interna, posiblemente atribuible a las características intrínsecas del sustrato utilizado.



Figura 8 Plántula en fibra con suelo rizosférico



Figura 9. Plántula en turba con suelo rizosférico

6. Discusión

El propósito de esta investigación fue evaluar el crecimiento de plántulas de *Macleania rupestris* bajo el efecto de tres tratamientos de inoculantes de suelo nativo y raíces de la misma especie. Los tratamientos evaluados corresponden a suelo circundante, suelo rizosférico y raíz, inoculados en sustrato turba y sustrato fibra.

En cuanto a los valores de supervivencia en el sustrato turba analizados descriptivamente el tratamiento de raíz registra un menor índice de supervivencia en comparación con el suelo rizosférico que mostró mayor supervivencia que los demás tratamientos, incluyendo al control. La menor supervivencia en el tratamiento de raíz sugiere que este tipo de inoculante podría no ser el más adecuado para promover la viabilidad inicial de las plántulas de *M. rupestris*. En contraste, la mayor supervivencia observada en el tratamiento de suelo rizosférico puede indicar que los microorganismos presentes en este tipo de suelo proporcionan un entorno más favorable para el establecimiento de las plántulas. Esto concuerda con estudios previos que destacan la importancia de los microorganismos de la rizosfera en la promoción del crecimiento y la salud de las plantas (Bizabani, 2015; Tang et al., 2023).

Para el sustrato fibra los inoculantes de suelo circundante y raíz muestran un menor índice de supervivencia, mientras que los otros dos tratamientos, incluyendo el control, denotan valores superiores, en ambos sustratos sugiere una robustez inherente de estos tratamientos. La menor supervivencia subraya la necesidad de investigar más a fondo los factores específicos que podrían estar limitando su eficacia. Es posible que los microorganismos de la raíz no se adapten bien al nuevo entorno del sustrato de fibra, lo cual es consistente con las observaciones de Vohník et al. (2023) sobre la sensibilidad de las Ericáceas a las condiciones del sustrato.

En el caso de la variable número de hojas en las primeras semanas registró una disminución en el número, esto atribuido a factores externos, como la mortalidad temprana de algunas plántulas, lo que es consistente con la literatura que describe los desafíos de establecer plantas jóvenes en nuevos sustratos (Laberge et al., 2013). Por otro lado, esta variable en el sustrato turba más inoculante suelo circundante muestra valores superiores en comparación al resto de tratamientos, de igual manera en el sustrato fibra el inóculo de suelo circundante en conjunto con el control denotan superioridad en contraste a los inóculos restantes. La similitud en el número de hojas acumuladas entre los tratamientos sugiere que la influencia de los diferentes inoculantes es menos pronunciada en esta variable.

El suelo circundante también mostró un impacto positivo en la altura de las plántulas, lo cual podría deberse a la presencia de un microbioma diverso que incluye géneros como *Bradyrhizobium* y *Burkholderia*, los cuales son dominantes tanto en suelos rizosféricos como circundantes (Curillo et al., 2023). La variación en la composición y diversidad de las comunidades microbianas puede influir en el desarrollo, la salud y la productividad de las plantas (Li et al., 2020). En cuanto al tipo de sustrato, los estudios han demostrado que la fibra puede ofrecer un mejor rendimiento que la turba. Por ejemplo, en el cultivo de arándanos, los sustratos con mayor porosidad y menor densidad aparente, como la fibra de coco, han mostrado mejores resultados en términos de crecimiento y rendimiento de las plantas (Ortiz-Delvasto et al., 2023). Similarmente, en esta investigación, los tratamientos con fibra mostraron una mayor biomasa en comparación con los tratamientos con turba.

Se observó un mejor desarrollo en tamaño y número de hojas en las plántulas tratadas con suelo circundante y rizosférico, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas en los otros tratamientos. El mayor crecimiento observado en las plántulas tratadas con suelo rizosférico puede deberse a la alta cantidad de microorganismos presentes en la rizosfera. Este entorno es rico en exudados producidos por las plantas, que promueven la presencia de microorganismos benéficos y la formación de relaciones simbióticas, lo que podría mejorar el desarrollo de las plántulas (Bizabani, 2015; Tang et al., 2023), también de esta manera se generan asociaciones simbióticas con grupos fúngicos como *Glomeromycota*, *Ascomycota* y *Basidiomycota*, los cuales actúan como micorrizas en plantas de la familia *Ericaceae* (Honrubia, 2009). Este microbioma de la rizosfera incluye simbiontes fúngicos, como los hongos micorrízicos ericoides, que son conocidos por mejorar la fisiología de las plantas (Cairney & Meharg, 2003; Vohník et al., 2023). Estos simbiontes fúngicos actúan como organismos que forman una asociación mutualista microorganismo-raíz mejorando de esta manera acciones de solubilización de nutrientes y un aumento en la absorción como es en el caso de nitrógeno o el fósforo (Straker, 1996).

7. Conclusión

Para las variables altura de planta, número de hojas y biomasa no se encontraron diferencias significativas en el análisis estadístico de los datos, sin embargo, a la variable altura el tratamiento que mayor beneficio brindó fue la inoculación de suelo circundante y suelo rizosférico en turba, mientras que en fibra estos valores se mostraron inferiores en comparación al tratamiento anteriormente mencionado. En la variable número de hojas la inoculación de raíz en el sustrato fibra mostró un mayor número de hojas producidas, mientras que en turba este resultado se obtuvo con la inoculación de suelo rizosférico en el tiempo evaluado de cuatro meses y finalmente en cuanto a biomasa el mejor tratamiento se vio en

el sustrato de fibra con el inoculante suelo rizosférico puesto que se vio un desarrollo notorio de raíces en la plántula. La variabilidad en la respuesta de las plántulas podría estar influenciada por la complejidad del microbioma del suelo y la interacción de múltiples factores ambientales. En conclusión, aunque el tratamiento T4 correspondiente a suelo rizosférico parece mostrar mejores resultados para las diferentes variables, es importante destacar que estos hallazgos necesitan ser respaldados estadísticamente para ellos se deben realizar más investigaciones con la finalidad de comprender completamente las interacciones entre los inoculantes y los sustratos en el desarrollo de esta especie conocida como *M. rupestris*.

Referencias

- Álvarez, Y., Oliva, M., Collazos, S., Vilca, N., & Huaman, N. (2020). Desempeño agronómico de cuatro variedades de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cultivadas en diferentes sustratos y pisos altitudinales. *Bioagro*, 187-194.
- Archilla, M., Bruno, M., Salloum, M., Gilesky, N., Vázquez, C., Gonzáles, M., Lucini, E., & Merlo, C. (2019). Los microorganismos promotores del crecimiento como biofertilizantes en manzanilla *Matricaria chamomilla* L. (Editorial CAM).
- Bautista, M. (2022). Inoculación con microorganismos rizosféricos para restauración de bosque seco tropical: metabarcoding y diversidad [Investigación, Universidad del Valle]. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/94080193>
- Ballington, J. R., Luteyn, J. L., Thompson, M. M., Romoleroux, K., & Castillo, R. (1993). Rubus and vacciniaceous germoplasm resources in the Andes of Ecuador. *Plant Genetic Resources-Newlettler*, 9-15.
- Bedoya, O. (2007). Hongos asociados a raíces de ericaceae en ecosistemas montañosos colombianos. [Investigación, Universidad de Los Andes].
- Bizabani, C. (2015). The diversity of root fungi associated with Erica species occurring in the Albany Centre of Endemism. (Tesis doctoral). Rhodes University, 148. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/145042911.pdf>
- Bonilla, R., Gonzáles, L., & Pedraza, R. (2021). Bacterias promotoras de crecimiento vegetal en sistemas de agricultura sostenible. *Agrosavia*.
- Cairney, J., & Meharg, A. (2003). Ericoid mycorrhiza: a partnership that exploits harsh edaphic conditions. *European Journal of Soil Science*, 735-740. doi:10.1046/j.1351-0754.2003.0555.x
- Česonienė, L., Krikštolaitis, R., Daubaras, R., & Mažeika, R. (2023). Effects of Mixes of Peat with Different Rates of Spruce, Pine Fibers, or Perlite on the Growth of Blueberry Saplings. *Horticulturae* 9(2), 151. doi:10.3390/horticulturae9020151

- Covacevich, F. (2017). Muestreo de suelos para determinacion de actividad y diversidad de hongos (2.a ed.). INTA
- De la Cruz, R., López, M., Pérez, S., & Ramírez, E. (2020). Agrobiodiversidad y alimentación en los Andes del sur de Ecuador. *Revista Agroecología*, 15(1), 29-43.
- Cruz, C., Gómez, L., & Uribe, D. (2017). Manejo biológico del tamo de arroz bajo diferentes relaciones C: N empleando co-inóculos microbianos y promotores de crecimiento vegetal. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19(2), 47-62.
doi:10.15446/rev.colomb.biote.v19n2.70168
- Cruz, C., Zelaya, L., Sandoval, G., De Los Santos, S., Rojas, E., Chávez, I., & Ramirez, S. (2021). Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México: Consideraciones y retos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*,
- Curillo, D., Cevallos-Cevallos, J., Chica, E., & Peña, D. (2023). Characterization of the microbial community associated with the roots of. *Revista Bionatura*, 7.
doi:10.21931/RB/2023.08.01.12
- Dávila, D. (2001). Las Ericáceas en la Web: Neotropical blueberries; the Plant Family Ericaceae. *Biota Colombiana*, 2(3), Article 3.
<https://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/106>
- Durán-Casas, S., Veloza, C., Magnitskiy, S., & Lancheros, H. (2013). Evaluation of uva camarona (*Macleania rupestris* Kunth A.C. Smith) propagation with air layering. *Agronomía Colombiana* 31(1), 18-26. Retrieved from
<https://www.redalyc.org/pdf/1803/180328568003.pdf>
- Evans, R. C., & Vander Kloet, S. P. (2010). Comparative analysis of hypocotyl development in epiphytic, lignotuber-forming, and terrestrial Vaccinieae (Ericaceae). *Botany*, 88(6), 556-564. doi: 10.29312/remexca.v12i5.2905
- Erazo, L., Cabezas, L., Arévalo, J. L., & Buitrago, L. J. (2018). Etnobotánica y diversidad de plantas cultivadas en los Andes sudamericanos. *Journal of Ethnobiology*, 28(2), 145-160.

- Floragard. (2015). Florabalt seed 1.
<https://professional.floragard.de/esES/gartenbau/suchergebnis/substrats-professionnels-substrats-multiplication/475/florabalt-seed-1>
- Guerra, P., Mena, V. H., Rodríguez, C., & Espinosa, M. (2021). Effect of biofertilizer inoculation on the growth of *Macleania rupestris* in Ecuador. *Journal of Applied Horticulture*, 23(1), 70-75.
- Gelvez, I., Moreno, J., & Santos, A. (2020). Guía de muestreo de suelo Para análisis microbiológico. Agrosavia.
- González, W., Avila, C., & Chinchilla, O. (2021). Muestreo de suelo y rizosfera para la identificación de hongos micorrízicos arbusculares asociados naturalmente a la especie caoba. *Revista Trimestral sobre la Actualidad Ambiental*, 278, 30-34.
- González, H., & Fuentes, N. (2017). Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 17-31.
- Guzmán, C., Córdoba, S., Zuñiga, P., Torres, C., Pérez, B., Mesa, L., Pacheco, R., & Cordoba, B. (2009). Especies Útiles en La Región Andina de Colombia. Tomo II.
- Habte, M., & Osorio, N. (2001). Arbuscular mycorrhizas: Producing and applying arbuscular mycorrhizal inoculum. College of Tropical Agriculture and Human Resources.
- Hamim, A., Miché, L., Douaik, A., Mrabet, R., Ouhammou, A., Duponnois, R., & Hafidi, M. (2017). Diversity of fungal assemblages in roots of Ericaceae in two Mediterranean contrasting ecosystems. *Comptes Rendus Biologies*. doi:10.1016/j.crv.2017.02.003
- Hartmann, A., Rothballer, M., & Schmid, M. (2015). Plant-driven selection of microbes. *Plant and Soil*, 321(1-2), 235-257.
- Honrubia, M. (2009). Las micorrizas: Una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 66(1), 133-144.
<https://doi.org/10.3989/ajbm.2226>
- Jara, A., Quiroz, T., & Cazar, M. (2012). Caracterización Nutricional y Actividad Antioxidante de *Macleania rupestris* (joyapa) y *Vaccinium floribundum* Kunth (Mortño). *Bioteología vegetal*, 38-48.

- Khan, M., Zaidi, A., & Wani, P. (2018). Beneficial plant-microbes interactions: biodiversity, ecosystem functions, and environmental challenges. *Plant and Soil*, 413(1-2), 1-17.
- Kiers, E., Hutton, M., & Denison, R. (2007). Human selection and the relaxation of legume defences against ineffective rhizobia. *Proc. Biol. Sci.* 274, 3119–3126. doi:10.1098/rspb.2007.1187
- Li, J., Mavrodi, O., Hou, J., Blackmon, C., Babiker, E., & Mavrodi, D. (2020). Comparative Analysis of Rhizosphere Microbiomes of Southern Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.), Darrow's Blueberry (*V. darrowii* Camp), and Rabbiteye Blueberry (*V. virgatum* Aiton). *Frontiers in microbiology*, 11. doi: 10.3389/fmicb.2020.00370
- Luteyn, J. (2002). Diversity, adaptation, and endemism in neotropical Ericaceae: Biogeographical patterns in the Vaccinieae. Bronx, NY 10458-5126, U.S.A.: The New York Botanical Garden. doi:10.1663/0006-8101(2002)068[0055:daaein]2.0.co;2
- Luteyn, J. (2021). The Plant Family Ericaceae ("Blueberries") in Ecuador: Ecology, Diversity, Economic Importance, and Conservation. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 42(2), Article 2. doi: 10.26807/remcb.v42i2.911
- Massenssini, A., Bonduki, V., Melo, C., Tótola, M., Ferreira, F., & Costa, M. (2014). Soil microorganisms and their role in the interactions between weeds and crops. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, 32(4), 873-884.
- Nelson, L. (2004). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): Prospects for New Inoculants. *Crop Management*, 3(1), 1–7. doi: 10.1094/cm-2004-0301-05-rv
- Ocampo, G. (2008). La incidencia de la colonización micorrízica en la propagación vegetativa de cuatro especies de ericaceae con fuentes de inóculo (sustratos) provenientes de la estación científica San Francisco [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de Loja.
- Ortiz-Delvasto, N., Garcia-Ibañez, P., Olmos-Ruiz, R., Bárzana, G., & Carvajal, M. (2023). Substrate composition affects growth and physiological parameters of blueberry. *Scientia Horticulturae*, 20. doi:10.1016/j.scienta.2022.111528
- Pedraza-Peñalosa, P., Montúfar, R., & Santiana, J. (2017). Especies de Ericaceae. <https://bioweb.bio/floraweb/librorojo/ListaEspeciesPorFamilia/500173>

- Perez-Jaramillo, J., Carrion, V., Bosse, M., Ferrao, L., DeHollander, M., & Garcia, A. (2017). Linking rhizosphere microbiome composition of wild and domesticated *Phaseolus vulgaris* to genotypic and root phenotypic traits. *ISME Journal*, 2244–2257. doi:10.1038/ismej.2017.85
- Perez-Jaramillo, J., Carrion, V., DeHollander, M., & Jimenez, R. (2018). The wild side of plant microbiomes. *Microbiome* 6, 143. doi:10.1186/s40168-018-0519-z
- Perez-Jaramillo, J., Mendes, R., & Raaijmakers, J. (2016). Impact of plant domestication on rhizosphere microbiome assembly and functions. *Plant Mol. Biol.* 90, 635–644. doi: 10.1007/s11103-015-0337-7
- Redagráfica. (2021). Arándanos en macetas, elección de sustratos y sistemas de riego son claves para su implementación. Redagráfica. <https://redagricola.com/arandanos-en-macetas-eleccion-de-sustratos-y-sistemas-de-riego-son-claves-para-su-implementacion/>
- Rodríguez, C., Mendoza, J., & Gómez, A. (2021). Identification of beneficial bacteria associated with *Macleania rupestris* roots and their potential for plant growth promotion. *Microbial Ecology*, 82(4), 977-989.
- Rodríguez, C. (2013). Evaluación de microorganismos promotores de crecimiento vegetal en tomate (*Solanum lycopersicum*) variedad santa clara, aislados de residuos lignocelulósicos de higuera (*Ricinus communis*). *Rev. Tec. Agro.* 24(II): 23-31.
- Salamanca, B., & Camargo, G. (2000). Protocolo Distrital de restauración ecológica: Guía para la restauración de ecosistemas nativos en las áreas rurales de Santa Fe de Bogotá. Departamento Técnico Administrativo del Ambiente.
- Straker, C. (1996). Ericoid mycorrhiza: Ecological and host specificity. *Mycorrhiza*, 6, 215-225. <https://doi.org/10.1007/s005720050129>
- Tang, J., Xiao, Y., Xu, X., Tang, M., Zhang, X., & Yi, Y. (2023). Root microbiota alters response to root rot in *Rhododendron delavayi* Franch. *Frontiers of Microbiology*, 15. doi:10.3389/fmicb.2023.1236110

Vademécum Agrícola. (2016). Fertilizantes, biostimulantes y reguladores PRO MIX PG-X

(Vol. 1). Edifarm. 242.

<https://quickagro.edifarm.com.ec/pdfs/productos/NITROGENOLIQUIDO-20160808-125036.pdf>

Vargas, J., & Suquillo, M. (2022). Caracterización fisicoquímica, nutricional, evaluación del potencial antioxidante del extracto micro encapsulado mediante secado por aspersión y su formulación de *Macleania rupestris* (Kunth) A.C. Sm. Universidad Técnica de Ambato.

Vohník, M., Bruzone, C., Knoblochová, T., Fernández, N., Kolaříková, Z., Větrovský, T., & Fontenla, S. (2023). Exploring structural and molecular diversity of Ericaceae hair root mycobionts: a comparison between Northern Bohemia and Argentine Patagonia. *Mycorrhiza*, 425-447. doi:10.1007/s00572-023-01125-5

Vohník, M., Burdíková, Z., & Wilkinson, D. (2012). Testate Amoebae Communities in the Rhizosphere of *Rhododendron ponticum* (Ericaceae) in an Evergreen Broadleaf Forest in Southern Spain. *Acta Protozoologica*, 51. doi:10.4467/16890027AP.12.021.0767

Young, K., & León, B. (1999). Biodiversity Conservation in Peru's Eastern Montane Forests. *Mountain Research and Development*, 20(3); 1-97.

Zachow, C., Tilcher, R., & Berg, G. (2014). Differences between the rhizosphere microbiome of *Beta vulgaris* ssp.maritima – ancestor of all beet crops and modern sugar beets. *Front. Microbiol.* 5, 415. doi:10.3389/fmicb.2014.00415

8. Anexos

8.1. Anexo A. Tabla de número de plantas vivas en el experimento.

Tabla 1. Tabla de número de plantas vivas en Turba

Número de plantas vivas en Turba				
Núm. días	Control	Suelo Rizosférico	Raíz	Suelo Circundante
1	20	20	20	20
16	15	19	13	17
25	15	19	12	17
46	15	19	12	17
66	14	19	11	15
81	14	19	10	15
98	12	19	10	15
113	12	17	7	15
168	12	16	6	15

Tabla 2 Tabla de número de plantas vivas en Fibra

Número de plantas vivas en Fibra				
Núm. Días	Control	Suelo Circundante	Raíz	Suelo Rizosférico
1	20	20	20	20
16	14	15	9	13
25	14	15	9	13
46	14	13	9	13
66	13	10	8	13
81	13	10	8	13
98	12	10	8	13
113	11	6	7	13
168	11	5	6	13

8.2. Anexo B. Medias de datos para Turba y Fibra.

Tabla 5. Media de datos por variable altura y número de hojas acumulado en el sustrato Turba con sus tratamientos.

Media de datos para altura en Turba			
Control	Suelo Rizosférico	Raíz	Suelo Circundante
10,5	12,4	13,8	19,3

Media de datos para número de hojas en Turba			
Control	Suelo Rizosférico	Raíz	Suelo Circundante
3,7	4,3	4,3	4,4

Tabla 6. Media de datos por variable altura y número de hojas acumulado en el sustrato Fibra con sus tratamientos.

Media de datos para altura en Fibra			
Control	Suelo Rizosférico	Raíz	Suelo Circundante
18,4	13,2	13,8	15,3

Media de datos para número de hojas en Fibra			
Control	Suelo Rizosférico	Raíz	Suelo Circundante
5,1	4,3	4,1	5,1

Tabla 7. Medias por sustrato y tratamiento de biomasa.

Media de biomasa en turba			
Control	Suelo Rizosférico	Raíz	Suelo Circundante
3,5	7,8	4,5	7,7

Media de biomasa en fibra			
Control	Suelo Rizosférico	Raíz	Suelo Circundante
5,9	12,4	2,8	3,6

8.3. Anexo C. Implementación del experimento



Figura 10. Recolección de muestras inoculantes



Figura 11. Preparación de inoculantes.



Figura 12. Siembra de plántulas.



Figura 13. Sustrato fibra.



Figura 14. Sustrato turba.

8.4. Anexo D. Plántulas al final del ensayo



Figura 15. Suelo rizosférico en turba.



Figura 16. Suelo Circundante en turba.



Figura 17. Raíz en turba.



Figura 18. Control turba.



Figura 19. Control fibra.



Figura 20. Raíz fibra.



Figura 21. Suelo Circundante fibra.



Figura 22. Suelo Rizosférico en fibra

8.5. Anexo E. Plántulas tomadas para biomasa



Figura 23. Suelo circundante en fibra.



Figura 24. Suelo circundante en turba.