



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS

AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

CARACTERIZACIÓN DE MICROORGANISMOS

BENÉFICOS DE MONTAÑA Y DE PLANTAS

OBTENIDOS EN TRES ZONAS DEL ÁREA PROTEGIDA

COMUNITARIA TAMBILLO

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL

TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR: JOSÉ MIGUEL MERINO JARA

DIRECTOR: ING. JACINTO VÁZQUEZ VÁZQUEZ, PhD.

CUENCA - ECUADOR

2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS

AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA

CARACTERIZACIÓN DE MICROORGANISMOS

BENÉFICOS DE MONTAÑA Y DE PLANTAS

OBTENIDOS EN TRES ZONAS DEL ÁREA PROTEGIDA

COMUNITARIA TAMBILLO

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL

TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR: JOSÉ MIGUEL MERINO JARA

DIRECTOR: ING. JACINTO VÁZQUEZ VÁZQUEZ. PhD.

CUENCA - ECUADOR

2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

José Miguel Merino Jara portador de la cédula de ciudadanía N° **0150547677**. Declaro ser el autor de la obra: “**Caracterización de microorganismos benéficos de montaña y de plantas obtenidos en tres zonas del Área Protegida Comunitaria Tambillo**”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **08 de octubre de 2025**



José Miguel Merino Jara

C.I. 0150547677


CERTIFICACIÓN

Yo **Jacinto Enrique Vázquez Vázquez**, con cédula de identidad N. 0102976842, en calidad de director del Trabajo de Titulación con el tema **“CARACTERIZACIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS DE MONTAÑA Y DE PLANTAS OBTENIDOS EN TRES ZONAS DEL ÁREA PROTEGIDA COMUNITARIA TAMBILLO”**, certifico que el presente trabajo fue de autoría y desarrollado por el Sr. José Miguel Merino Jara.

Atentamente,

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

JACINTO
ENRIQUE
VAZQUEZ
VAZQUEZ



Firmado digitalmente
por JACINTO ENRIQUE
VAZQUEZ VAZQUEZ
Fecha: 2025.10.08
10:04:10 -05'00'

Ing. Jacinto Vázquez Vázquez PhD.

Docente Tutor

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a Dios por concederme la fortaleza y la oportunidad de alcanzar este logro tan significativo en mi vida. Su guía ha sido mi sustento en cada etapa de este camino.

Extiendo mi más sentido reconocimiento a mi director de tesis, Ing. Jacinto Vázquez, por su invaluable orientación, su paciencia y su compromiso con mi desarrollo académico y personal.

Finalmente, agradezco a mis compañeros y amigos por haber sido parte de este proceso. Su compañía y los momentos compartidos hicieron de esta travesía una experiencia sumamente grata.

Jose Miguel Merino Jara

DEDICATORIA

Dedico esta tesis en primer lugar a Dios, por la guiarme con sabiduría durante este tiempo académico, por ser mi inspiración para superar los momentos difíciles y alcanzar este logro en mi vida.

A mi familia, por la confianza inquebrantable y constante que siempre me han brindado. Especialmente con mis padres, por su apoyo incondicional, su paciencia y los innumerables sacrificios que han hecho para que yo pueda cumplir este sueño, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida.

Finalmente, a todas las personas que de alguna u otra forma aportaron su tiempo y conocimiento durante esta etapa, les agradezco profundamente.

Jose Miguel Merino Jara

Índice

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad	III
Certificación	IV
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA	VI
RESUMEN:	8
ABSTRACT:	9
INTRODUCCIÓN	10
1. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	11
1.1. Impacto de los incendios forestales	11
1.2. Microorganismos benéficos y su importancia	11
1.3. Captura de microorganismos de montaña	12
1.4. Microorganismos obtenidos de plantas	12
1.5. Área Protegida Comunitaria Tambillo	12
1.6. Especies vegetales del Área Protegida Comunitaria Tambillo.....	13
1.7. Germinación de semillas (<i>G. hyssopifolia</i>) mediante el test de Zucconi.....	13
2. MATERIALES Y MÉTODOS	14
2.1 Zona de estudio.....	14
2.2 Diseño de la investigación.....	14
2.3 Tratamientos	14
2.4 Desarrollo del experimento	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
CONCLUSIONES.....	25
BIBLIOGRAFÍA	26

RESUMEN:

Los incendios forestales alteran drásticamente la vegetación y la salud del suelo, modificando la microbiota asociada. El objetivo de este estudio fue caracterizar en laboratorio los consorcios de microorganismos benéficos presentes en el suelo de bosque y en especies vegetales: *Puya nutans*, *Baccharis sp.* y *Macleania rupestris*, en tres zonas del Área Protegida Comunitaria Tambillo (alterada, de transición y no alterada), y evaluar su efecto en la germinación de semillas de *Gentianella hyssopifolia*. Se realizó una investigación experimental con 12 tratamientos, las muestras fueron obtenidas de la rizosfera y filosfera de las especies y del suelo en cada zona. Los consorcios microbianos se evaluaron en semillas de *G. hyssopifolia* mediante el test de Zucconi. Los resultados mostraron que el suelo no alterado (T3) presentó la mayor riqueza y abundancia (31 especies; 0,53–3,96 log UFC/ml), mientras que en el suelo alterado (T1) disminuyó (26 especies; 0,39–2,30 log UFC/ml). Una tendencia similar se observó en las plantas: *Baccharis sp.* de zona no alterada (T9) registró 30 especies y abundancia de 0,55–2,96 log UFC/ml, frente a la zona alterada (T7), donde se redujo a 14 especies y 0,22–1,10 log UFC/ml. En la prueba de germinación, los consorcios de *M. rupestris* zona de transición (T11) mostraron el mayor efecto positivo, con una eficacia 5,30 veces superior al testigo. Estos resultados evidencian que los incendios modifican significativamente la composición microbiana de rizosfera y filosfera, y que ciertos consorcios pueden favorecer la germinación de semillas de especies nativas.

Palabras clave:

Consortios microbianos; Rizosfera y Filosfera; Incendio forestal, Restauración ecológica

ABSTRACT:

Wildfires drastically alter vegetation and soil health, modifying the associated microbiota. This study aimed to characterize, under laboratory conditions, the consortia of beneficial microorganisms present in forest soil and in plant species *Puya nutans*, *Baccharis sp.*, and *Macleania rupestris* across three zones (altered, transition, and unaltered) of the Tambillo Community Protected Area, and to evaluate their effect on the germination of *Gentianella hyssopifolia* seeds. An experimental investigation was conducted with 12 treatments. Samples were collected from the rhizosphere and phyllosphere of the species, as well as from the soil in each zone. Microbial consortia were tested on *G. hyssopifolia* seeds using the Zucconi test. The results showed that unaltered soil (T3) presented the highest richness and abundance (31 species; 0.53–3.96logCFU/ml), while in altered soil (T1), it decreased (26 species; 0.39–2.30logCFU/ml). A similar trend was observed in the plants: *Baccharis sp.* from the unaltered zone (T9) recorded 30 species and an abundance of 0.55–2.96logCFU/ml, compared to the altered zone (T7), where it was decreased to 14 species and 0.22–1.10logCFU/ml. In the germination test, the consortia from *M. rupestris* in the transition zone (T11) showed the greatest positive effect, with an efficacy 5.30 times higher than the control. These results indicate that wildfires significantly alter the microbial composition of the rhizosphere and phyllosphere, and that certain consortia can promote the germination of seeds of native species.

Keywords:

Microbial consortia, Rhizosphere and Phyllosphere, Wildfire, Ecological restoratio

INTRODUCCIÓN

La vida en el suelo constituye un sistema complejo de procesos interconectados, donde los microorganismos desempeñan un rol fundamental en el mantenimiento del funcionamiento y el equilibrio ecológico del entorno edáfico (Ayan et al., 2021). Los cambios en la estructura de las comunidades microbianas del suelo pueden considerarse un indicador del estado de los ecosistemas, dado su rol indispensable en la regulación de procesos ecológicos y biogeoquímicos, y en la salud general del suelo (Joos et al., 2023).

Los ecosistemas forestales son fundamentales para la biodiversidad global y la regulación climática, sin embargo, estudios han demostrado que los incendios pueden reducir hasta en un 33,2% la abundancia de microorganismos presentes en el suelo impactando en la composición y funcionalidad de las comunidades microbianas (Dooley y Treseder, 2012). Un estudio realizado en bosques de eucalipto y en parcelas de pastoreo reveló que la estructura de las comunidades bacterianas y fúngicas mostró cambios significativos entre los períodos antes y después del incendio, en contraste, las comunidades microbianas en los sitios no quemados mostraron pocas variaciones durante el mismo período (Prendergast-Miller et al., 2017).

En el Área Protegida Comunitaria Tambillo (APCT), ubicada en Morona Santiago, Ecuador, un incendio ocurrido hace 50 años afectó aproximadamente 150 hectáreas de bosque de neblina montano, afectando la composición del suelo, la vegetación y, presumiblemente, las comunidades microbianas, desde entonces, la recuperación de la vegetación original ha sido escasa o prácticamente nula, y el suelo ha experimentado alteraciones significativas en su estructura, afectando su capacidad para sostener la biodiversidad que antes predominaba en la zona (Tambillo Forest, 2021). Un estudio reciente realizado en el APCT, que analizó las diferentes propiedades químicas y físicas del suelo, reveló diferencias significativas entre las zonas alteradas por el fuego, las zonas de transición y las zonas no alteradas, las dos primeras zonas presentan un aumento en el pH y la densidad aparente del suelo, junto con una disminución en la diversidad vegetal, en contraste con la zona no afectada (Tenelema y Morocho, 2024).

Los incendios ocasionan un daño grave a la vegetación, perceptible visualmente, y es posible que se alteren las propiedades físico-químicas del suelo como mencionan algunos autores (Agbeshie et al., 2022; Avila-Flores et al., 2024). Sin embargo, persiste un vacío de conocimientos respecto al impacto del fuego en las comunidades microbianas edáficas y su proceso de recuperación post-incendio (Shi et al., 2024). La falta de investigaciones científicas limita la implementación de estrategias efectivas de restauración ecológica en el APCT (Tambillo Forest, 2021).

Considerando que el incendio ocurrió hace 50 años, resulta relevante analizar cómo se ha llevado a cabo el proceso de recuperación del bosque, evaluando la composición de los consorcios microbianos presentes en el suelo y en las plantas. La variación de estos microorganismos, tanto en la rizosfera como en la filosfera, en las diferentes zonas del bosque, puede ser un indicador del estado actual del ecosistema, dada su importancia como bioindicadores de resiliencia.

En función de lo anterior, el objetivo de este estudio fue caracterizar a nivel de laboratorio los consorcios de microorganismos benéficos, tanto en suelo de bosque como en especies vegetales: *Puya nutans*, *Baccharis sp* y *Macleania rupestris*, en tres zonas del

Área Protegida Comunitaria Tambillo, adicionalmente, se evaluó el efecto de dichos microorganismos sobre la germinación de semillas, con el fin de identificar cepas o asociaciones que potencialmente aporten a los procesos de restauración ecológica en el bosque.

1. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1. Impacto de los incendios forestales

Los incendios afectan directamente la microbiota del suelo al quemar la hojarasca y el humus, lo que destruye el hábitat y mata a muchos organismos por las altas temperaturas, en consecuencia, reduce la biomasa microbiana, sin embargo, sus efectos indirectos como los cambios en las propiedades del suelo y la vegetación puede llegar a ser más significativos que el impacto directo del fuego (Köster et al., 2021). Un estudio posterior a un incendio forestal mostró que, en comparación con zonas no afectadas, los suelos quemados presentaban una menor complejidad en las redes microbianas de co-ocurrencia, así como una reducción del microbioma central (Li et al., 2024), lo que muestra una clara afectación a las comunidades de microorganismos del suelo modificando sus interacciones.

1.2. Microorganismos benéficos y su importancia

Los microorganismos benéficos del suelo, esenciales en la agricultura, se clasifican según su función: 1) fitoestimulantes, que promueven la germinación, el enraizamiento y el crecimiento vegetal mediante la producción de reguladores de crecimiento, vitaminas y otras sustancias bioactivas; 2) mejoradores, que incrementan la fertilidad al estabilizar la estructura físico-química del suelo a través de la formación de agregados; 3) biorremediadores, encargados de degradar agroquímicos persistentes como pesticidas y herbicidas, mitigando su impacto ambiental; y 4) biofertilizantes, que facilitan nutrientes biodisponibles y moléculas bioactivas para el desarrollo vegetal, además de suprimir fitopatógenos (Cruz-Cárdenas et al., 2021).

El suelo es un sistema en el cual interactúan diversos organismos, cumplen funciones esenciales para mantener el equilibrio natural al integrarse en una compleja red de interacciones (Lavelle, 2021). El desequilibrio microbiano en el suelo puede provocar degradación biológica que impacta negativamente en la calidad de los cultivos y su capacidad de resistencia frente al estrés, además de limitar funciones ecosistémicas esenciales como el reciclaje de nutrientes, la regulación hídrica y la mitigación del cambio climático (Tigre, 2024).

En los ecosistemas naturales, nutrientes clave como nitrógeno y fósforo se encuentran principalmente en formas orgánicas, poco accesibles para las plantas, su disponibilidad depende de la acción de los microorganismos del suelo como bacterias y hongos, capaces de transformar estos compuestos en formas inorgánicas asimilables (Jacoby et al., 2017). Por ejemplo, *Azotobacter* una bacteria especializada en ciclos largos representa el principal grupo de bacterias fijadoras de nitrógeno en la rizosfera de las plantas (Gothandapani et al., 2017). Además, géneros como *Bacillus* y *Pseudomonas*, favorecen el crecimiento vegetal al combatir patógenos, estas actúan mediante antibiosis o estimulando las defensas naturales de las plantas (Dimkić et al., 2022). De igual manera,

hongos como *Trichoderma* establecen una relación simbiótica con las raíces, que mejora la absorción de nutrientes y promueven el crecimiento vegetal (Kumar et al., 2022).

1.3. Captura de microorganismos de montaña

Los microorganismos de montaña (MM) son comunidades de hongos, bacterias y levaduras beneficiosas presentes en diversos ecosistemas naturales no intervenidos, se encuentran en la capa orgánica superficial o mantillo del bosque, generalmente se identifican mediante el color de sus colonias (verde, naranja, blanco), este material se utiliza como inóculo para promover la multiplicación microbiana; el proceso de reproducción consiste en mezclar mantillo del bosque, salvado de arroz, melaza y agua para luego compactarla en un recipiente hermético donde se fermenta por varios días, posteriormente, se realiza la activación colocando el material resultante en un bolsa de tela dentro de un tanque con agua y melaza, sellándolo herméticamente para su reposo, obteniendo como resultado un biofermento líquido de microorganismos de montaña (Torres et al., 2022).

Las poblaciones microbianas benéficas presentes en los activados líquidos de MM se clasifican en grupos funcionales entre los que destacan fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforo, además, se ha determinado que durante la activación de MM el crecimiento predominante varía con el tiempo, observándose mayor presencia de hongos al cuarto día, bacterias al octavo día y levaduras al décimo quinto día (Castro-Barquero y González-Acuña, 2021).

1.4. Microorganismos obtenidos de plantas

Los microorganismos habitan diversos ambientes bajo distintas condiciones de pH, temperatura y humedad, colonizando tanto el interior como el exterior de los tejidos vegetales, donde particularmente los asociados a las superficies aéreas, como las hojas, pueden generar beneficios al igual que los del suelo, siendo potenciales fuentes de inóculo útil (Barrera et al., 2019).

En el estudio de Alvarez-Vera et al. (2018), se describe el proceso para la obtención de microorganismos benéficos a partir de la filosfera (hojas trituradas) de las plantas, mediante el uso de una solución madre, compuesta por agua, melaza, sal de mesa e hígado de res, lo que facilita el crecimiento y reproducción de los microorganismos que se encuentren presentes en las hojas, después de un periodo de incubación en temperatura ambiente se pueden identificar a los microorganismos obtenidos por la formación de capas blancas y un característico olor agrídulce durante el proceso.

1.5. Área Protegida Comunitaria Tambillo

El APCT se encuentra ubicada entre las provincias del Azuay y Morona Santiago, pertenece a la parroquia San Miguel de Cuyes del cantón Gualaquiza, provincia de Morona Santiago, posee una superficie aproximada de 1954 hectáreas (Tambillo Forest, 2021), el rango altitudinal varía entre 2400 – 3100 m.s.n.m, aquí se han registrado 350 especies de flora, 75 especies de aves y 22 especies de mamíferos, el 03 de mayo 2018 el bosque fue elevado a la máxima categoría: Área Protegida Comunitaria del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador, siendo la primera área protegida en recibir esta distinción (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2018).

En la zona media del Área Protegida Comunitaria Tambillo, un incendio de gran magnitud arrasó con ecosistemas naturales, afectando tanto la biodiversidad vegetal como las características del suelo, este evento marcó un antes y un después en la composición del paisaje, ya que se estima que muchas especies vegetales nativas o endémicas, que conformaban diversos microecosistemas, desaparecieron, actualmente, especies del género *Puya* predomina en el área, el impacto del incendio no se limitó a la pérdida de cobertura vegetal, sino que también generó alteraciones significativas en la estructura del suelo, incluyendo el incremento en la compactación y posibles cambios en las comunidades microbianas del subsuelo, estos factores han contribuido a la escasa o nula recuperación de la vegetación original que predominaba en la región y la lenta regeneración del paisaje (Tambillo Forest, 2021).

1.6. Especies vegetales del Área Protegida Comunitaria Tambillo

Un área protegida es un importante reservorio de biodiversidad, albergando una gran cantidad de especies endémicas. En el APCT destacan varios ejemplares como el caso de *Puya nutans*, especie conocida localmente como Achupalla, la cual pertenece a una extensa agrupación de bromelias terrestres caracterizadas por hojas en roseta, se distribuye a lo largo de los Andes, desde Costa Rica hasta Chile y Argentina, con mayor diversidad en zonas altas como los páramos y valles interandinos, habitan principalmente entre los 1500 y 4000 m.s.n.m, siendo endémicas de áreas aisladas, con aproximadamente 228 especies (Veldhuisen et al., 2024).

Originaria de Latinoamérica, *Baccharis sp.*, es una planta conocida localmente como Tres filos, el género incluye más de 500 especies presentes en la región, pertenece a las *Asteráceas*, la familia vegetal más diversa, sus principales metabolitos secundarios incluyen compuestos fenolico, flavonoides y diterpenos, los cuales han mostrado propiedades terapéuticas; estas plantas se distribuyen en diversos ecosistemas, desde regiones secas hasta zonas húmedas, adaptándose a distintos climas y tipos de suelo (Llaure-Mora et al., 2021).

Por su parte, *Macleania rupestris*, es una especie de la familia *Ericaceae*, se la conoce localmente como Joyapa, crece entre 2500 y 3400 m.s.n.m, adaptándose a diversos ambientes como bosques, matorrales y páramos, incluso en suelos ácidos, pendientes pronunciadas y zonas rocosas; en Ecuador ha sido utilizada tradicionalmente por comunidades rurales, tanto por su valor nutricional como por sus posibles propiedades medicinales, sus frutos y hojas se utilizan para aliviar afecciones como la diarrea y el malestar general, ya sea consumidos frescos o en jugo (Mayorga-Ramos et al., 2025).

1.7. Germinación de semillas (*Gentianella hyssopifolia*) mediante el test de Zucconi

El uso de microorganismos como promotores de la germinación de semillas ha ganado amplia aceptación debido a su impacto favorable en el rendimiento de diversos cultivos bajo diferentes condiciones, además de su contribución al desarrollo de una agricultura orgánica, estos microorganismos que pueden modificar el equilibrio hormonal endógeno de la planta, alterando su morfología, aumentando la superficie y la actividad enzimática de las raíces, y promoviendo el crecimiento de la parte aérea (Castillo-Reyes et al., 2014).

G. hyssopifolia es una planta herbácea de hasta 60 cm de altura, con tallos múltiples y hojas opuestas, lineares, de hasta 3 cm de largo, las inflorescencias se presentan en cimas compactas con hasta 10 flores, es endémica del sur de Ecuador (Azuay y Cañar), crece entre los 2800 y 3900 m s.n.m., en pajonales densos y bien conservados, asociada a macollas de *Calamagrostis* y *Festuca* (Minga et al., 2019).

El test de Zucconi es un método diseñado para determinar la fitotoxicidad de residuos orgánicos y compost inmaduros, proporcionando una evaluación sobre su estabilidad y adecuación para uso agrícola, se basa en el empleo de una solución de los materiales orgánicos, el cual se utiliza para analizar la germinación y el crecimiento de las raíces de semillas de plantas (Zucconi et al., 1981, citado por Carbó et al., 2023). Los resultados se comparan con un testigo de agua destilada, permitiendo calcular el Índice de Germinación (IG) que integra el porcentaje promedio de germinación de las semillas y el porcentaje promedio de elongación de las raíces (Luo et al., 2018).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Zona de estudio

El estudio se llevó a cabo en dos fases:

(i) Fase de campo: Se realizó en la zona de bosque de neblina montano del APCT. Se tomaron muestras en tres zonas previamente establecidas por Tenelema & Morocho (2024), según el grado de afectación por un incendio forestal ocurrido hace 50 años:

Zona 1 (Alterada): Área quemada con escasa regeneración vegetal.

Zona 2 (Transición): Área con recuperación parcial.

Zona 3 (No alterada): Bosque conservado sin impacto de incendios.

(ii) Fase de laboratorio: Se llevó a cabo en el Laboratorio de Fitopatología en la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Católica de Cuenca, ubicada en la Ciudadela Kennedy, cantón Cuenca, provincia del Azuay, donde se procesaron y analizaron todas las muestras recolectadas en el APCT.

2.2 Diseño de la investigación

Diseño experimental, con un enfoque cuantitativo y de carácter descriptivo y analítico. Se determinó la población de microorganismos benéficos de la zona de estudio y su efecto en el índice de germinación de semillas de *G. hyssopifolia*. Para la población microbiana, se establecieron 12 tratamientos, en los cuales se recolectaron muestras de suelo (rizosfera) y de tres especies vegetales (filosfera), según lo detallado en la tabla 1.

2.3 Tratamientos

En la Tabla 1 se presentan los tratamientos determinados en función de la fuente de obtención de los microorganismos y de la zona de recolección.

Tabla 1. Descripción de tratamientos de la investigación

Tratamiento	Fuente de MM	Zona
T1		Alterada
T2	Suelo	Transición
T3		No alterada

T4		Alterada
T5	<i>Puya nutans</i>	Transición
T6		No alterada
T7		Alterada
T8	<i>Baccharis sp.</i>	Transición
T9		No alterada
T10	<i>Macleania</i>	Alterada
T11	<i>rupestris</i>	Transición
T12		No alterada

Para determinar el índice de germinación y evaluar el efecto de los consorcios de microorganismos de cada tratamiento, se realizó un ensayo basado en el test de Zucconi, utilizando como indicador la especie nativa *Gentianella hyssopifolia*.

2.4 Desarrollo del experimento

Fase I: Recolección de muestras

Recolección de mantillo de suelo. Las muestras se recolectaron en sacos previamente identificados, a una profundidad de entre 5-15 cm, con un peso aproximado de 20 kg cada una, según lo establecido en el cuadro de tratamientos para las zonas delimitadas.

Recolección de plantas. En las tres zonas se recolectaron muestras de las especies asignadas, tomando únicamente la parte foliar, cada muestra fue etiquetada, envuelta en papel periódico húmedo y colocada en un cooler para evitar su deshidratación durante el transporte al laboratorio. En el caso de la zona no alterada correspondiente al tratamiento T6 (género *Puya*), no se encontraron ejemplares para su recolección.

Recolección de semillas. Las semillas de la especie *G. hyssopifolia*, se recolectaron de plantas maduras en el APCT. Se eligieron cápsulas cerradas, antes de su apertura natural, y se almacenaron en frascos etiquetados para su traslado al laboratorio.

Fase II: Cultivo de Microorganismos

Para la obtención de microorganismos de montaña (MM) se procedió de acuerdo al protocolo descrito por Cano (2014), que consiste en mezclar 20 kg de suelo de bosque, 40 kg de salvado de arroz y 10 litros de melaza diluidos en 15 l de agua con un promedio de 41,8 °Brix. La humedad de la mezcla se verificó mediante la prueba de puño, al presionarla la muestra no debía liberar agua, pero tenía que conservarse compacta. Concluido el proceso de mezcla, se colocó en un tanque plástico, donde se compactó para eliminar el aire y generar condiciones anaeróbicas, posteriormente, el recipiente se selló herméticamente y se dejó fermentar durante 38 días. Tras este período, se activaron los microorganismos de montaña (MM) mediante la colocación de 2 kg del inóculo sólido en una bolsa de tela porosa dentro de un tanque con 10 l de agua y 0,56 l de melaza previamente disueltos con un promedio de 13,9 °Brix. El recipiente se selló y se mantuvo durante 13 días, obteniéndose finalmente el biofermento líquido de microorganismos activados del suelo de montaña.

Para la captura y reproducción de microorganismos de plantas, se procesó el material vegetal dentro de las 24 horas posteriores a su llegada al laboratorio, se seleccionaron hojas sanas, las cuales se trituraron en pequeños fragmentos y posteriormente se

colocaron en bolsas plásticas en una cantidad de 50 g junto con 5 g de sal, 20 ml de melaza y 50 ml de agua, siguiendo la metodología descrita por Alvarez-Vera et al. (2018). Las bolsas se almacenaron a temperatura ambiente, sin exposición directa a la luz solar durante 28 días, se obtuvo un concentrado de solución madre. Para la fase de activación de los microorganismos, se preparó una mezcla con 400 ml de agua, 15 g de saborizante a base de extracto de pollo, 4 g de sal y 40 ml de melaza, esta mezcla se calentó hasta un punto cercano a la ebullición para favorecer la homogenización, una vez enfriada, se incorporaron 40 ml del concentrado de solución madre. La solución final se distribuyó en frascos sellados, los cuales se mantuvieron en reposo durante 24 días en condiciones ambientales, evitando la exposición directa a la luz solar. Para cada tratamiento se prepararon tres frascos independientes. Tras finalizar el periodo de activación microbiana, el contenido de los tres frascos correspondientes a un mismo tratamiento se combinó asépticamente para formar una muestra compuesta. De cada frasco se tomaron 300 ml, obteniéndose un volumen final de 900 ml por tratamiento.

Una vez finalizado el proceso de obtención de los consorcios microbianos, las soluciones obtenidas tanto del suelo de bosque (mantillo) como de la hidrólisis de material vegetal (*Puya*, *Baccharis*, *Macleania*) se envasaron en frascos plásticos debidamente etiquetados, con un volumen de 900 ml por tratamiento, que luego se enviaron a un laboratorio especializado para determinar su riqueza y abundancia mediante el método Biograma Microbiano Biocatalítico. Adicionalmente a las muestras experimentales, se incluyó una muestra de un producto comercial de microorganismos como control positivo, permitiendo así la comparación con los consorcios microbianos obtenidos de montaña.

Fase III: Índice de Germinación

Se prepararon extractos microbianos a una concentración del 0,5 % a partir de los consorcios obtenidos de cada tratamiento, completando el volumen con agua estéril, siguiendo la dosis utilizada por Vázquez-Vázquez et al. (2019). Se realizaron ocho replicas por tratamiento, cada unidad experimental consistió en una caja Petri con papel toalla que se humedeció con 4 ml de la mezcla correspondiente al tratamiento, para el control negativo (testigo) se utilizó agua estéril y para el control positivo los consorcios microbianos comerciales. Se colocaron 10 semillas de *G. hysopifolia* por unidad experimental, previamente las semillas se sometieron a un proceso de selección, bajo estereomicroscopio para descartar aquellas deformes, manchadas o dañadas. Las semillas fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 0,5 % durante 5 minutos y enjuagadas tres veces antes de la siembra. Las cajas se incubaron en cámara de germinación con iluminación LED con un fotoperíodo de 12 horas luz/oscuridad y una temperatura promedio de 20,4 °C durante 60 días. Se consideró una semilla germinada cuando emergían las radículas, transcurrido este tiempo, se evaluó el índice de germinación (IG) conforme a la metodología de Zucchini et al. (1981) para identificar posibles efectos fitotóxicos de los tratamientos. Valores superiores al 80% se considera un indicador positivo para su uso agrícola. Se registro el número promedio de semillas germinadas y la longitud promedio de las radículas, medidas en milímetros mediante papel milimetrado para más precisión. El IG se calculó mediante la fórmula:

$$IG = \frac{GRS \times CRR}{100}$$

Donde:

- IG: Índice de Germinación
- GRS: Porcentaje de germinación relativa de semillas, calculado mediante: (promedio de semillas germinadas en el tratamiento dividido entre el promedio de semillas germinadas en el testigo) multiplicado por 100.
- CRR: Crecimiento relativo de la radícula, calculado mediante: (longitud promedio de la radícula en el tratamiento dividido entre la longitud promedio de la radícula en el testigo) multiplicado por 100.

El Índice de Germinación (IG) del testigo se establece como referencia del cálculo al 100%, representando el potencial máximo del lote de semillas (germinación y longitud de radícula) en condiciones óptimas sin fitotoxicidad al utilizar agua estéril.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis mediante el método Biograma Microbiano Biocatalítico demuestran cambios en la riqueza y abundancia de los consorcios de microorganismos benéficos en función de la procedencia de las zonas afectadas y no afectadas por el incendio en el APCT.

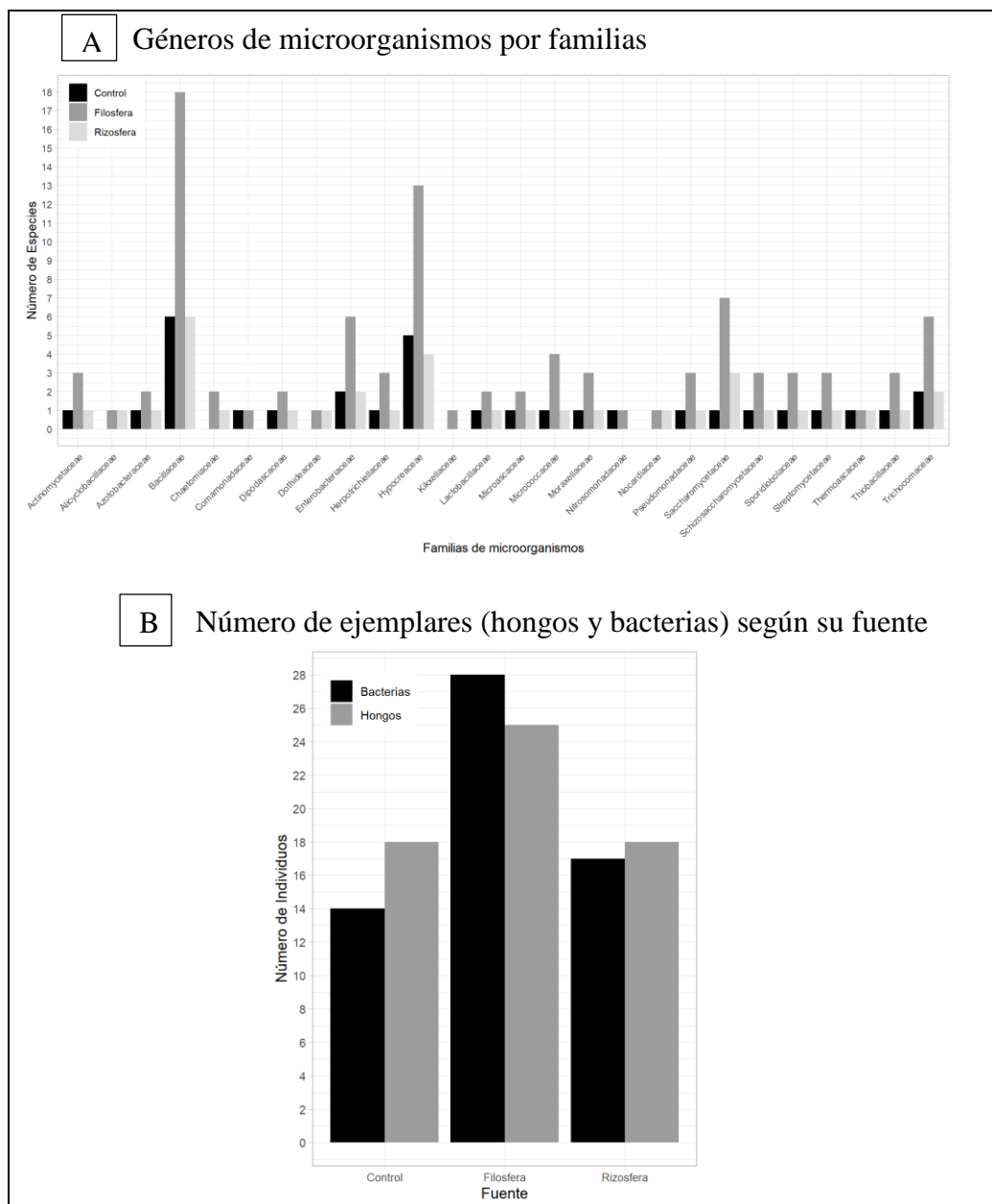


Figura 1. Diversidad y distribución de microorganismos: Filosfera (conjunto de especies vegetales muestreadas). Rizosfera (conjunto de los suelos muestreados). Control (producto comercial de microorganismo) analizado de forma independiente.

Se identificaron bacterias y hongos con funciones biocatalíticas importantes para la solubilización de nutrientes y promoción del crecimiento vegetal, destacando las familias *Bacillaceae* e *Hypocreaceae* por su importancia agrícola. Su diversidad de géneros mostró una mayor distribución en la filofera en comparación con la rizosfera y el control (Figura 1A). La presencia elevada de *Bacillaceae*, representada principalmente por el género *Bacillus*, podría asociarse a sus propiedades clave, ya que se caracterizan por su capacidad para formar endosporas bajo condiciones ambientales adversas, lo que le otorga resistencia y facilidad para colonizar diversos sustratos, generando estructuras de extrema tolerancia (Etesami et al., 2023). De igual manera la familia *Hypocreaceae*, con la presencia de géneros notables como *Trichoderma sp.*, ha sido ampliamente reconocida

por su rol en el crecimiento vegetativo, como en el control de patógenos en condiciones variables, otorgando tolerancia al estrés abiótico (Barman et al., 2021).

La comparación entre fuentes de aislamiento reveló diferencias en la diversidad de hongos y bacterias, observando un mayor predominio de bacterias en la filosfera (Figura 1B), datos que coinciden con lo señalado por Bashir et al. (2021), quienes mencionan que los hongos son menos diversos que las bacterias, ya que estas constituyen los taxones más abundantes en la filosfera, esto se debe a que algunas poseen mecanismos para contrarrestar el estrés oxidativo provocado por los rayos UV, como la producción de pigmentos o la reparación del ADN. En contraste, la rizosfera presenta una distribución más equilibrada de microorganismos, con un ligero predominio de hongos sobre bacterias, esta mayor estabilidad podría explicarse mediante la hipótesis propuesta por Bao et al. (2020), quienes señalan que la filosfera constituye un hábitat relativamente hostil debido a fluctuaciones rápidas en la disponibilidad hídrica, la intensidad de radiación ultravioleta y otros factores de estrés ambiental, mientras que la rizosfera ofrece un entorno más estable y protegido.

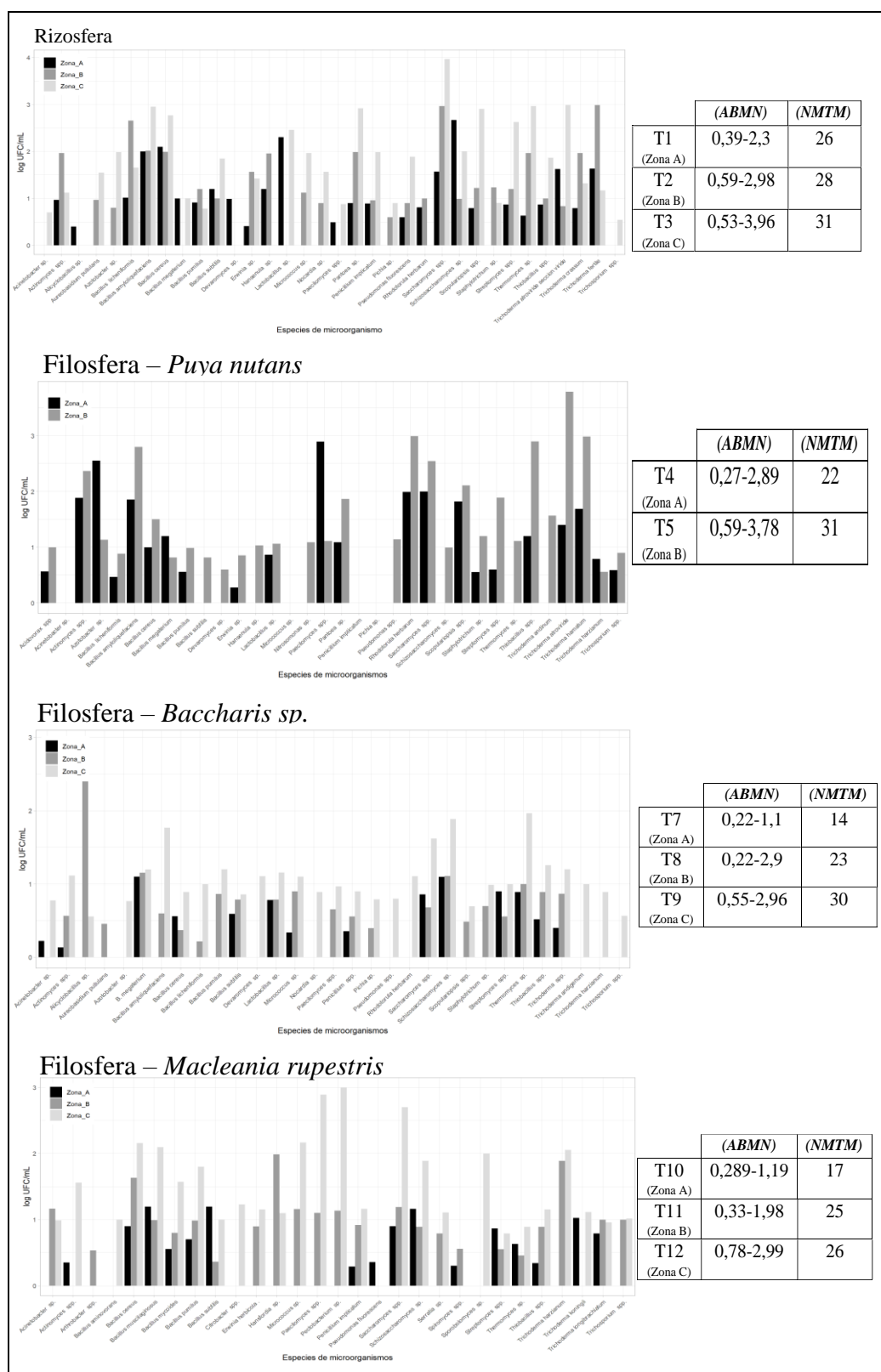


Figura 2. Abundancia y riqueza de microorganismos en rizosfera y filósfera según el tratamiento: Amplitud bioma microbiano nanocatalítico (ABMN), describe el número mínimo detectado en relación con el número máximo representando cada uno a un determinado microorganismo. Nivel en mapa trofobiotico microbiano (NMTM), muestra el número de microorganismos detectados en la muestra analizada.

La figura 2 presenta las concentraciones y géneros de microorganismos identificados en los diferentes tratamientos, tanto en la rizosfera como en la filosfera.

En el caso de los suelos, se observó que los consorcios de microorganismos benéficos de la zona no alterada (T3) presentaron la mayor riqueza con un total de 31 especies, seguido por la zona de transición (T2) con 28 especies y finalmente la zona alterada por el incendio (T1) con 26 especies. La abundancia siguió el mismo patrón $T3 > T2 > T1$, con rangos de densidad poblacional de 0.53-3.96, 0.50-2.98 y 0.39-2.3 log UFC/ml respectivamente, evidenciando los posibles efectos del incendio sobre la comunidad microbiana.

Las bacterias del género *Bacillus* mostraron diferentes concentraciones en los tres suelos, destacando su importancia ecosistémica debido a la presencia de genes de nitrogenasa que les confieren capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico, *B. licheniformis* predominó en T2, mientras que *B. amyloliquefaciens* se destacó en T3 con valores de hasta 2.95 log UFC/ml, reconocida como solubilizadora de fosfatos insolubles (Tiwari et al., 2019).

En el caso de *Azotobacter spp.*, presente en T2 y T3, pero ausente en T1, constituye uno de los principales fijadores de nitrógeno atmosférico, transformándolo en amoníaco disponible para las plantas (Sumbul et al., 2020). La presencia de estos microorganismos solubilizadores se relaciona directamente con la disponibilidad de nutrientes, ya que según los resultados del análisis de Tenelema y Morocho (2024) los tratamientos T3 y T2 presentan mayores concentraciones de nitrógeno y fósforo en comparación con T1, que registra los valores más bajos en las propiedades químicas del suelo.

Los resultados obtenidos concuerdan con investigaciones recientes que resaltan la importancia de la disponibilidad de nutrientes en el suelo como factor determinante de la diversidad microbiana (Liu et al., 2023; Bao et al., 2020). En contraste, otros autores mencionan que los altos niveles de P disponible en conjunto con altos niveles de Fe en el suelo, pueden ser depresores de la capacidad mesotrófica en condiciones donde existen bajos niveles de carbono orgánico en el suelo (Covacevich et al., 2012)

Estos hallazgos sugieren que las alteraciones en las propiedades edáficas, como las ocurridas en las áreas afectadas por el incendio, pueden influir significativamente en las comunidades microbianas. De igual forma, Dove et al. (2022), señalan que, tras un incendio, la recuperación del microbioma del suelo ocurre de manera gradual y puede extenderse por décadas limitando la restauración del ecosistema afectado, particularmente a procesos esenciales como el ciclado de nutrientes, dado que la restauración de las comunidades está relacionada con la recolonización de especies vegetales, las propiedades químicas del suelo y la reorganización de las poblaciones microbianas. Además, se ha evidenciado que después de un incendio, si la regeneración vegetal es lenta y no se restablece el aporte de nutrientes, se genera efectos negativos en las propiedades microbianas del suelo, afectando tanto la actividad como la diversidad (Barreiro y Díaz-Raviña, 2021). Por ello el manejo post-incendio del suelo mediante la adición de enmiendas constituye una estrategia efectiva para generar condiciones favorables que faciliten la recuperación de la cubierta vegetal (Rhoades et al., 2017).

En el caso de la filosfera, los consorcios de microorganismos benéficos asociados a las especies vegetales evaluadas mostraron una mayor riqueza y abundancia en los

tratamientos correspondientes a las zonas no alteradas y de transición. Destacan *Baccharis* zona no alterada (T9) con 30 especies y una abundancia de 0.55-2.96 log UFC/ml, y *P. nutans* zona de transición (T5) con 31 especies y 0.59-3.78 log UFC/ml. En contraste, los tratamientos pertenecientes a la zona afectada por el incendio presentaron una reducción significativa en la diversidad y abundancia, siendo *Baccharis* (T7) el que presentó la menor cantidad, con un total de 14 especies y 0.22-1.1 log UFC/ml, seguida por *M. rupestris* (T10) con un total de 17 especies y 0.28-1.19 log UFC/ml.

La reducción significativa en la diversidad de consorcios microbianos en zonas impactadas por el incendio sugiere que existe una pérdida de grupos funcionales, similar a lo que ocurre en la rizosfera, al respecto Zhu et al. (2021), señalan que los factores abióticos modifican sustancialmente la abundancia y composición de las comunidades microbianas asociadas a este nicho ecológico, al mismo tiempo, Sohrabi et al. (2023) mencionan que, si bien la microbiota de la filosfera puede ser diferente a la rizosfera, la mayoría comparten grupos similares a los encontrados en el suelo que entre sí, lo que propone que el suelo funciona como una fuente común de inóculo para la colonización de la filosfera. La presencia de *T. harzianum* puede ser una muestra de ello, puesto que, se evidencia su ausencia en las zonas alteradas, en contraste con su presencia en las zonas no alteradas, lo que sugiere un posible impacto negativo en la microbiota debido a las condiciones de perturbación. Sin embargo, es importante mencionar que estas comunidades presentan una dinámica cambiante, la cual está determinada por factores estacionales y condiciones climáticas (Lemanceau et al., 2017). Así mismo, Barrera et al. (2019) mencionan que, incluso en una misma especie vegetal, la composición microbiana de la filosfera difiere entre genotipos los cuales comparten el mismo hábitat, estas diferencias están asociadas a los rasgos foliares específicos de cada planta, los cuales influyen en la selección de comunidades microbianas particulares.

Germinación de semillas

De acuerdo a los resultados obtenidos, el mayor IG de semillas de *G. hyssopifolia* se observó en el tratamiento T11 de *M. rupestris* zona de transición, con un valor de 630% siendo superior en 5.30 veces respecto al testigo (100%), seguido por el tratamiento T1 (suelo zona alterada) con 457% superando en 3.57 veces al testigo y en tercer lugar el tratamiento T9 de *Baccharis sp.* zona no alterada, alcanzando 400% un valor de 3 veces mayor que el testigo. El producto comercial se ubicó en un rango intermedio con un valor de 2,95% siendo 1,95 veces mayor al testigo. Por el contrario, los tratamientos T5 de *P. nutans* zona de transición y T3 (suelo zona no alterada) registraron los datos más bajos, siendo los únicos que se situaron por debajo del testigo (línea amarilla) cuyos valores fueron de 38% y 70% presentando una disminución del 62% y 29% respectivamente, por lo que se considera que son fitotóxicos ya que no superan el 80%. (Figura 3).

A pesar de que la mayoría de los tratamientos mostraron diferencias positivas en el índice de germinación (IG) en comparación con el testigo, ninguno alcanzó un porcentaje de germinación elevado. El valor máximo registrado fue de 27,5% (T11), mientras que el testigo presentó un 6,3%. Estos resultados confirman una baja capacidad germinativa en las semillas de *G. hyssopifolia* bajo las condiciones de laboratorio, donde se mantuvo una temperatura promedio de 20°C. Dicha condición no replicó las bajas temperaturas características del páramo del APCT, bosque de origen de esta especie nativa, lo cual

podría explicar los porcentajes obtenidos y los valores de IG observados. Estos resultados son similares a lo evidenciado por Seminario et al. (2021), quienes estudiaron a cuatro especies de *Gentianella* las cuales presentaron un bajo poder germinativo.

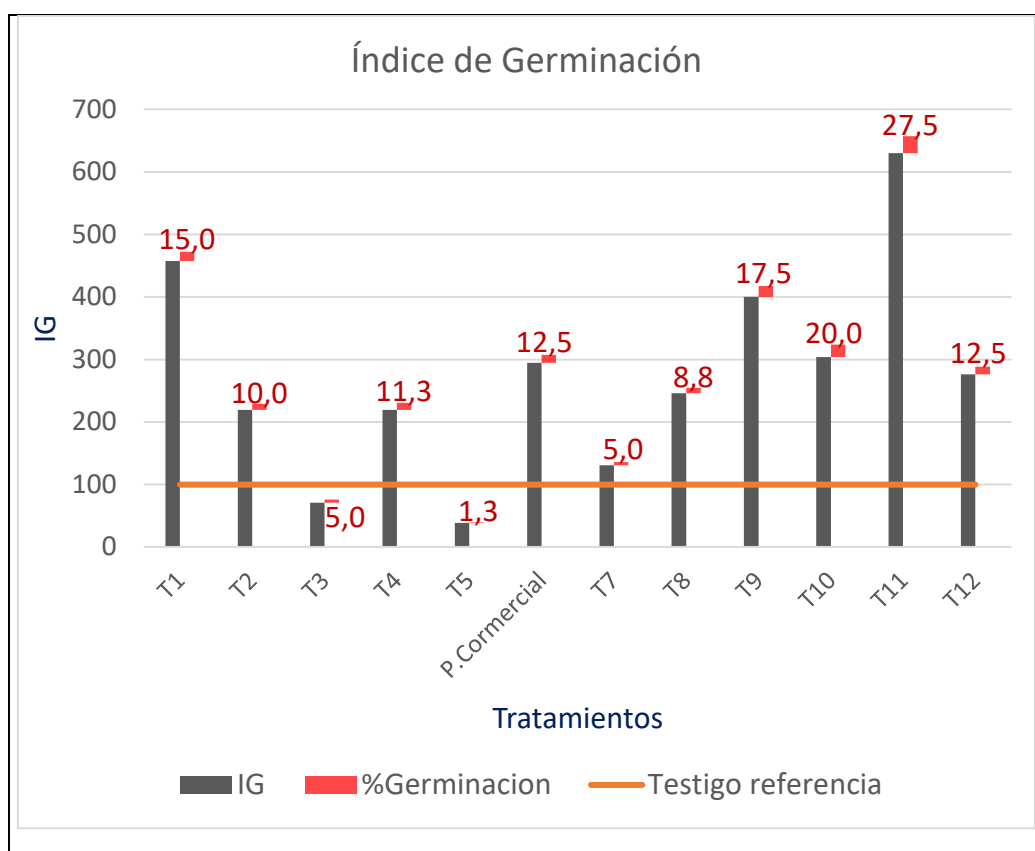


Figura 3. Índice de germinación (IG) de semillas de *Gentianella hyssopifolia*. Porcentaje promedio de germinación de las semillas de cada tratamiento (%Germinación), siendo 6,3% para testigo (agua estéril). Testigo referencia (100%): representa el potencial máximo del lote de semillas (germinación y longitud de radícula) en condiciones óptimas sin fitotoxicidad al utilizar agua estéril.

De acuerdo con la revisión de Luteyn (2021) la familia *Ericaceae* a la cual pertenece *M. rupestris* establece relaciones simbióticas con hongos micorrícicos. Lo que podrían atribuirse a los resultados destacados del tratamiento T11 (*M. rupestris*), sin embargo, las causas de los efectos positivos pueden ser otros como la correcta dosis del concentrado. En comparación con el tratamiento T5 (*P. nutans*) mostró una fitotoxicidad evidente, resultado particularmente relevante al presentar una de las mayores abundancias microbianas (0.59-3.78 log UFC/ml). Este efecto inhibitorio reportado en estudios previos por Camacho et al. (2019) lograría explicar el bajo éxito en la germinación, lo cual sugiere la posibilidad de que el tratamiento ejerce aún más el estado de dormancia de las semillas. Además, varios autores han estudiado las causas de una baja germinación de semillas en dichas pruebas, atribuyendo estos efectos negativos a sustancias potencialmente fitotóxicas que están en cantidades elevadas, causando efectos desfavorables en las semillas (Kebrom et al., 2019; Wang et al., 2022).

La aplicación de inoculantes microbianos es una estrategia efectiva para mejorar la germinación de semillas, debido a sus efectos bioestimulantes. En este contexto, Vera et al. (2024), evaluaron el uso de diferentes cepas de *T. harzianum*, *Azotobacter vinelandii*, *Bacillus polymyxa* y *Azospirillum* en semillas de pimiento híbrido, sus resultados demostraron un efecto positivo en su germinación destacando la cepa de *A. brasilense*. Otros autores han demostrado que los microorganismos nativos del suelo desempeñan un papel fundamental en la mejora de la germinación, por ejemplo, Barrera et al. (2021) aplicaron una técnica de lavado microbiano en semillas de dos especies de flores silvestres, observando que *Ratibida columnifera* presento una tasa de germinación significativamente mayor (75%) en comparación con el control. Sin embargo, hay evidencia que demuestra que los microorganismos pueden tener efectos adversos en la germinación de semillas, en el caso de Sarić-Krsmanović et al. (2017), probaron la inoculación de *Bacillus sp.* en *Cuscuta campestris*, sus resultados evidenciaron efectos inhibidores en la germinación con respecto al control. De la misma manera, Yusnawan et al. (2019) evaluaron el efecto de *Trichoderma virens* como recubrimiento en semillas de soja, los tratamientos evaluados no mostraron diferencias significativas ni mejoras en la germinación en comparación con el testigo.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio demuestran que los consorcios de microorganismos obtenidos de rizosfera y filosfera varían según la zona de procedencia. Se registró una mayor riqueza y abundancia en las áreas no alteradas, en contraste con las zonas alteradas por incendios, donde los valores fueron considerablemente inferiores. Esta reducción se evidenció tanto en el suelo, donde la abundancia pasó de 0.53-3.96 UFC/ml en T3 (zona no alterada) a 0.39-2.3 log UFC/ml en T1 (zona alterada), así como en las especies vegetales, particularmente en *Baccharis* sp., cuya comunidad microbiana pasó de 30 especies en T9 (zona no alterada) a 14 en T7 (zona alterada). Estos resultados confirman que los incendios alteran de manera significativa las comunidades microbianas asociadas al suelo y a la vegetación. Asimismo, los consorcios de microorganismos demostraron un efecto positivo en la germinación de *Gentianella hyssopifolia*, especie nativa del APCT, destacando el tratamiento T11 (microorganismos de la filosfera de *Macleania rupestris*, zona transición), que alcanzó un índice de germinación del 630%, siendo 5,30 superior al testigo.

Se recomienda que futuras investigaciones profundicen en la validación de estos efectos en otras especies nativas de montaña y en plantas de interés agrícola. Además, los resultados respaldan el potencial uso de consorcios microbianos como estrategia para la recuperación y restauración de ecosistemas degradados por incendios.

BIBLIOGRAFÍA

- Agbeshie, A. A., Abugre, S., Atta-Darkwa, T., y Awuah, R. (2022). A review of the effects of forest fire on soil properties. *Journal of Forestry Research*, 33, 1419-1441. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01475-4>
- Alvarez-Vera, M., Vázquez, J., Castillo, J., Tucta, F., Quispe, E., y Meza, V. (2018). Potencial de la flora de la provincia del Azuay (Ecuador) como fuente de microorganismos benéficos. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 561-568. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.12>
- Avila-Flores, D. Y., Castillo-Quiroz, D., García-García, D. A., Castillo-Reyes, F., y Villanueva-Blanco, V. O. (2024). Impacto del fuego en la diversidad biológica de la vegetación y propiedades físicas y químicas del suelo. *Revista Latinoamericana De Recursos Naturales*, 20(3), 103-112.
- Ayan, R. L., Coutiño, M. P., González, M. M., Vázquez, L. R., y Hernández, G. F. (2021). Microorganismos del suelo y sus usos potenciales en la agricultura frente al escenario del cambio climático. *Magna Scientia Uceva*, 1(1), 104-117. <https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a14>
- Bao, L., Cai, W., Cao, J., Zhang, X., Liu, J., Chen, H., . . . Bai, Z. (2020). Microbial community overlap between the phyllosphere and rhizosphere of three plants from Yongxing Island, South China Sea. *MicrobiologyOpen*, 9(7). <https://doi.org/10.1002/mbo3.1048>
- Barman, S., Gorai, P., y Mandal, N. (2021). Chapter 3 - Trichoderma spp.—Application and future prospects in agricultural industry. En S. D. Mandal, y A. K. Passari (Edits.), *Agricultural and Industrial Approach* (pp. 49-70). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822098-6.00008-2>
- Barreiro, A., y Díaz-Raviña, M. (2021). Fire impacts on soil microorganisms: Mass, activity, and diversity. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100264>
- Barrera, D., Luera, J., Lavallee, K., y Soti, P. (2021). Influence of microbial priming and seeding depth on germination and growth of native wildflowers. *Ecol Process*, 10(19). <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00287-4>
- Barrera, S. E., Sarango-Flores, S.-W., y Montenegro-Gómez, S.-P. (2019). The phyllosphere microbiome and its potential application in horticultural crops. A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(3), 384-396. <https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i3.8405>
- Bashir, I., Assad, R., Farooq, W. A., Rafiq, I., Ahmad, S. I., Ahmad, R. Z., y Rashid, I. (2021). Application of Phyllosphere Microbiota as Biofertilizers. *Microbiota and Biofertilizers*, 2, 311-327. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_15
- Camacho, C. F., Uribe, L. L., Newcomer, Q., Masters, K., y Kinyua, M. (2019). Phytotoxicity of compost produced with mountain microorganisms and biodigester sludge. *UNED Research Journal*, 11(2), 75-84. <https://doi.org/10.22458/urj.v11i2.2197>
- Cano, H. (2014). *Aplicación de quelatos, harinas de roca, fosfitos y caldos minerales para el mejoramiento agroecológico de fincas campesinas*. Corporación Ecológica y Cultural Penca de Sábila.

- Carbó, L. I., Volpe, S. M., Guitérrez, G., Herrero, M. A., y Gil, S. B. (2023). Último recuento: una estrategia efectiva para la evaluación de indicadores de germinación en especies forrajeras en situaciones de estrés. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 24(2). https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num2_art:2894
- Castillo-Reyes, F., Sánchez, C. J., Rangel, E. S., y Canul, K. J. (2014). Efecto de microorganismos en la promoción de la germinación de semillas de la cactácea *Echinocactus platyacanthus*. *Interciencia*, 39(12), 863-867.
- Castro-Barquero, L., y González-Acuña, J. (2021). Factores relacionados con la activación líquida de microorganismos de montaña (mm). *Agronomía Costarricense*, 45(1), 81-92. <https://doi.org/10.15517/rac.v45i1.45703>
- Covacevich, F., Eyherabide, M., Rozas, H., y Echeverría, H. (2012). CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DETERMINAN LA CAPACIDAD MICOTRÓFICA ARBUSCULAR DE SUELOS AGRÍCOLAS Y PRÍSTINOS DE BUENOS AIRES (ARGENTINA). *Ciencia del Suelo*, 30(2), 119-128.
- Cruz-Cárdenas, C. I., Zelaya Molina, L. X., Sandoval Cancino, G., de los Santos Villalobos, S., Rojas Anaya, E., Chávez Díaz, I. F., y Ruíz Ramírez, S. (2021). Utilización de microorganismos para una agricultura sostenible en México: consideraciones y retos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(5), 899-913. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2905>
- Dimkić, I., Janakiev, T., Petrović, M., Degrassi, G., y Fira, D. (2022). Plant-associated *Bacillus* and *Pseudomonas* antimicrobial activities in plant disease suppression via biological control mechanisms - A review. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101754>
- Dooley, S. R., y Treseder, K. K. (2012). The effect of fire on microbial biomass: a meta-analysis of field studies. *Biogeochemistry*, 109(1/3), 49-61. <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9633-8>
- Dove, N. C., Tas, N., y Hart, S. C. (2022). Ecological and genomic responses of soil microbiomes to high-severity wildfire: linking community assembly to functional potential. *The ISME Journal*, 16, 1853-1863. <https://doi.org/10.1038/s41396-022-01232-9>
- Etesami, H., Jeong, B. R., y Glick, B. R. (2023). Biocontrol of plant diseases by *Bacillus* spp. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2023.102048>
- Gothandapani, S., Sekar, S., y Padaria, C. J. (2017). *Azotobacter chroococcum*: Utilization and potential use for agricultural crop production: An overview. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 4(3), 35-42. <https://doi.org/10.22192/ijarbs.2017.04.03.004>
- Jacoby, R., Peukert, M., Sucurro, A., Koprivova, A., y Kopriva, S. (2017). The Role of Soil Microorganisms in Plant Mineral Nutrition—Current Knowledge and Future Directions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1-19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01617>
- Joos, L., De Tender, C., Holderbeke, A., Clement, L., Vandecasteele, B., y Debode, J. (2023). Exploring the microbial response as a potential bio-indicator for soil health: Insights from a controlled incubator experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 356. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108634>

- Kebrom, T. H., Woldeesenbet, S., Bayabil, H. K., Garcia, M., Gao, M., Ampim, P., . . . Fares, A. (2019). Evaluation of phytotoxicity of three organic amendments to collard greens using the seed germination bioassay. *Environ Sci Pollut Res*, *26*, 5454-5462. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3928-4>
- Köster, K., Aaltonen, H., Berninger, F., Heinonsalo, J., Köster, E., Ribeiro-Kumara, C., . . . Pumpanen, J. (2021). Impacts of wildfire on soil microbiome in Boreal environments. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, *22*. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100258>
- Kumar, M., Poonam, Ahmad, S., y Singh, R. P. (2022). Plant growth promoting microbes: Diverse roles for sustainable and ecofriendly agriculture. *Energy Nexus*, *7*, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100133>
- Lavelle, P. (2021). El suelo auto organizado. *Magna Scientia UCEVA*, *1*(1), 84-89. <https://doi.org/10.54502/msuceva.v1n1a12>
- Lemanceau, P., Barrett, M., Mazurier, S., Mondy, S., Pivato, B., Fort, T., y Vacher, C. (2017). Plant Communication With Associated Microbiota in the Spermosphere, Rhizosphere and Phyllosphere. *Advances in Botanical Research*, *82*, 101-133. <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2016.10.007>
- Li, X., Han, Y., Zhang, Y., Shao, Q., Dong, C., Li, J., . . . Zhang, Y. (2024). Effects of wildfire on soil microbial communities in karst forest ecosystems of southern Guizhou Province, China. *Applied and Environmental Microbiology*, *90*(11), 1-17. <https://doi.org/10.1128/aem.01245-24>
- Liu, M., Huang, F., Huang, Y., Gan, X., Li, Y., y Wang, M. (2023). Soil Nutrient Availability Regulates Microbial Community Composition and Enzymatic Activities at Different Soil Depths along an Elevation Gradient in the Nanling Nature Reserve, China. *Forests*, *14*(8), 1514. <https://doi.org/10.3390/f14081514>
- Llaure-Mora, A. M., Ganoza-Yupanqui, M. L., Suárez-Rebaza, L. A., y Bussman, R. W. (2021). *Baccharis genistelloides* (Lam.) Pers. "carqueja": A review of uses in traditional medicine, phytochemical composition and pharmacological studies. *Ethnobotany Research and Applications*, *21*(1), 1-37. <https://doi.org/10.32859/era.21.50.1-37>
- Luo, Y., Liang, J., Zeng, G., Chen, M., Mo, D., Li, G., y Zhang, D. (2018). Seed germination test for toxicity evaluation of compost: Its roles, problems and prospects. *Waste Management*, *71*, 109-114. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.023>
- 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), 79-98. <https://doi.org/10.26807/remcb.v42i2.911>
- Mayorga-Ramos, A., Zúñiga-Miranda, J., Coyago-Cruz, E., Heredia-Moya, J., Guamán-Bautista, J., y Guamán, L. (2025). Phytochemical Composition and Biological Properties of *Macleania rupestris* Fruit Extract: Insights into Its Antimicrobial and Antioxidant Activity. *Antioxidants*, *14*(4), 2-17. <https://doi.org/10.3390/antiox14040394>
- Minga, D. A., Verdugo, A., y Ulloa, U. C. (2019). *Flora del páramo del Cajas, Ecuador*. Universidad del Azuay; Imprenta Don Bosco Centro Gráfico Salesiano. <https://doi.org/10.33324/ceuzuay.42>

- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2018). *Tambillo, primera área protegida comunitaria del Ecuador*. <https://www.ambiente.gob.ec/tambillo-primer-area-protegida-comunitaria-del-ecuador/>
- Prendergast-Miller, M. T., de Mendez, A. B., Macdonald, L. M., Toscas, P., Bissett, A., Baker, G., . . . Thrall, P. H. (2017). Wildfire impact: Natural experiment reveals differential short-term changes in soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, *109*, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.01.027>
- Rhoades, C., Minatre, K., Pierson, D., Fegal, T., Cotrufo, M., y Kelly, E. (2017). Examining the Potential of Forest Residue-Based Amendments for Post-Wildfire Rehabilitation in Colorado, USA. *Scientifica*. <https://doi.org/10.1155/2017/4758316>
- Sarić-Krsmanović, M., Božić, D., Radivojević, L., Gajić-Umiljendić, J., Šantrić, L., y Vrbničanin, S. (2017). Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and cover crops on seed germination and early establishment of field dodder (*Cuscuta campestris* Yunk.). *Pesticidi i fitomedicina*, *32*(2), 105-111. <https://doi.org/10.2298/PIF1702105S>
- Seminario, J. F., Silva, W., Escalante-Zumaeta, S. B., Yuca, R., Reátegui, O., y Best, I. (2021). Biología y ecología de cuatro especies medicinales de *Gentianella* recolectadas para el mercado en la Región Cajamarca, Perú. *Bonplandia*, *30*(2), 145-159. <https://doi.org/10.30972/bon.3024878>
- Shi, Z., Chen, Y., Li, A., Hu, M., y Liu, W. (2024). Fire alters soil bacterial and fungal communities and intensifies seasonal variation in subtropical forest ecosystem. *European Journal of Soil Biology*, *123*. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2024.103677>
- Sohrabi, R., Paasch, B. C., Liber, J. A., y Yang, S. H. (2023). Phyllosphere Microbiome. *Annual Review of Plant Biology*, *74*, 539-568. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-102820-032704>
- Sumbul, A., Ansari, R. A., Rizvi, R., y Mahmood, I. (2020). Azotobacter: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *27*(12), 3634-3640. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.08.004>
- Tambillo Forest. (2021). *Iniciativa Tambillo Forest Proyecto de Reforestación*. <https://tambilloforest.com/iniciativa/>
- Tenelema, M., y Morocho, D. (2024). Evaluación del efecto de incendios forestales históricos sobre propiedades del suelo en el bosque protector Tambillo. *[Trabajo de grado, Universidad de Cuenca]*. Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/45480>
- Tigre, X. (2024). Evaluación de dos tipos de MOB's en el comportamiento fisiológico del rábano (*Raphanus sativus*). *[Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]*. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27899>
- Tiwari, S., Prasad, V., y Lata, C. (2019). Bacillus: Plant Growth Promoting Bacteria for Sustainable Agriculture and Environment. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, 43-55. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64191-5.00003-1>

- Torres, P. J., Aguilar, J. C., Vázquez, S. H., Solís, L. M., Gómez, P. E., y Aguilar, J. J. (2022). Evaluación del uso de microorganismos de montaña activados en el cultivo de rosas, Zinacantán, Chiapas, México. *Siembra*, 9(1), 1-12. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3500>
- Vázquez-Vázquez, J., González-Rojas, J., Castillo-Guevara, J., y Alvarez-Vera, M. (2019). Microorganismos benéficos MOBs obtenidos de plantas, como promotores en la germinación de semillas. *Dominio De Las Ciencias*, 5(1), 615-628. <https://doi.org/10.23857/dc.v5i1.1064>
- Veldhuisen, L., Garcia, L. M., Bodine, E., Aguirre-Santoro, J., y Jabaily. (2024). Description of Life History & Reproductive Size Threshold in Three High Elevation Puya (Bromeliaceae). *Description of Life History and Reproductive Size Threshold in Three High Elevation Puya (Bromeliaceae)*, 35(1), 1-10. <https://journals.flvc.org/selbyana/article/view/129823>
- Vera, R. J., Barzallo, D., Villamar, M., y Barcia-Anchundia, J. X. (2024). Efecto bioestimulante de los microorganismos sobre la germinación in vitro de semillas híbridas de pimiento. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 25(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_num1_art:3306
- Wang, G., Yang, Y., Kong, Y., Ma, R., Yuan, J., y Li, G. (2022). Key factors affecting seed germination in phytotoxicity tests during sheep manure composting with carbon additives. *Journal of Hazardous Materials*, 421(2). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126809>
- Yusnawan, E., Inayati, A., y Baliadi, Y. (2019). Effect of soybean seed treatment with *Trichoderma virens* on its growth and total phenolic content.
- Zhu, Y.-G., Xiong, C., Wei, Z., Chen, Q.-L., Ma, B., Zhou, S.-Y.-D., . . . Duan, G.-L. (2021). Impacts of global change on the phyllosphere microbiome. *New Phytologist*, 234(6), 1977-1986. <https://doi.org/10.1111/nph.17928>
- Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., y De Bertoldi, M. (1981). Evaluating toxicity in immature compost. *Biocycle*, 22, 54-57.



José Miguel Merino Jara portador de la cédula de ciudadanía N° **0150547677**. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “**Caracterización de microorganismos benéficos de montaña y de plantas obtenidos en tres zonas del Área Protegida Comunitaria Tambillo**” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **08 de octubre de 2025**

José Miguel Merino Jara

C.I. 0150547677