



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL

**COMPARATIVO DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS
ASOCIADO A SUELOS DE BOSQUE NATIVO Y PLANTACIÓN
FORESTAL DE LA CORPORACIÓN SUMAK TARPUY, EN
CANTÓN COLTA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA FORESTAL

AUTORA: ANA MARÍA MASAQUIZA CAIZABANDA

DIRECTORA: Ing. ROSA DEL PILAR CASTRO GÓMEZ PhD

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Ana María Masaquiza Caizabanda

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Ana María Masaquiza Caizabanda, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 31 de mayo del 2023


A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ana María Masaquiza Caizabanda', written in a cursive style.

Ana María Masaquiza Caizabanda

200010310-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **COMPARATIVO DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS ASOCIADO A SUELOS DE BOSQUE NATIVO Y PLANTACIÓN FORESTAL DE LA CORPORACIÓN SUMAK TARPUI, EN CANTÓN COLTA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, realizado por la señorita: **ANA MARÍA MASAQUIZA CAIZABANDA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. María Elena Vallejo Sanaguano PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-05-31
Ing. Rosa del Pilar Castro Gómez DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-05-31
Ing. Marco Aníbal Vivar Arrieta ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-05-31

DEDICATORIA

A Dios, porque en cada momento he sentido su presencia a mi lado, por permitirme preparar y concluir esta etapa académica satisfactoriamente. A mamá, por ser un pilar fundamental de mi existencia y transmitirme su amor y apoyo incondicional en cualquier momento, agradecerle por siempre escucharme, por todos los consejos, los momentos de reflexión y por ser parte de tantas aventuras. A papá, quien guió mi camino y me enseñó a vivir y a valorar la vida; infinitamente gracias por apoyarme sin interés personal, solo con el anhelo y satisfacción de ver a sus hijos triunfar y alcanzar sus metas. A mis hermanos y familiares, por sus oraciones, consejos y palabras de motivación que permitieron ser de mí una mejor persona, de una u otra manera siempre están presentes en todo momento.

Ana

AGRADECIMIENTO

A Dios, porque cada día me enseña lo hermoso que es vivir y lo justa que puede llegar a ser la vida. Dedicar con mucho amor el presente trabajo especialmente a papá, quien hace lo posible y en ocasiones lo imposible por ayudarnos en la formación como persona y luego como profesional, y así lograr alcanzar muchos éxitos; siendo su mayor orgullo y satisfacción ver cumplir sus sueños que algún día no pudo concretarse por diferentes motivos. Todo lo que en estos años he logrado ha sido por él. A mi madre y hermanos, por todo su apoyo moral y emocional, sin importar lo que tengan que sacrificar me ayudaron en cada dificultad que tenía, su amor y cariño me llenaron de fuerza para seguir y alcanzar mis sueños. A mis docentes de la FFRRNN-ESPOCH, que compartieron sus conocimientos y experiencias durante mi estadía académico. A la Ing. Ana María Cunachi Pillajo por su tiempo y conocimientos que me permitieron desarrollar de la mejor manera la investigación. A los Ingenieros, Rosa del Pilar Castro y Marco Aníbal Vivar Arrieta miembros del Trabajo de Integración Curricular quienes direccionaron y agregaron sugerencias que permitieron cumplir con éxitos la investigación. Finalmente, a la Corporación “Sumak Tarpuy” quienes me acogieron de la mejor forma y predisposición en la institución.

Ana

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Hipótesis	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Biodiversidad microbiana en el suelo	5
2.2. Variedad de microorganismos en el suelo	5
2.3. Crecimiento de los microorganismos	6
2.4. Microorganismos nativos	7
2.5. Microorganismos eficientes.....	8
2.5.1. <i>Importancia de los microorganismos eficientes</i>	9
2.5.2. <i>Tipos de microorganismos eficientes</i>	9
2.6. Microorganismos de tierra de bosque.....	10
2.6.1. <i>Funciones de los microorganismos de bosque</i>	10
2.6.2. <i>Factores que afectan el crecimiento microbiano</i>	11
2.6.2.1. <i>Temperatura</i>	11
2.6.2.2. <i>Ph</i>	11
2.6.2.3. <i>Nutrientes</i>	11
2.6.2.4. <i>Oxígeno</i>	11
2.6.2.5. <i>Luz</i>	12

2.6.2.6.	<i>Humedad</i>	12
2.6.2.7.	<i>Antibióticos y otros inhibidores</i>	12
2.6.2.8.	<i>Competencia</i>	12
2.6.2.9.	<i>Factores ambientales</i>	12
2.6.3.	<i>Principales grupos microbianos</i>	12
2.6.3.1.	<i>Bacterias</i>	12
2.6.3.3.	<i>Protistas</i>	13
2.6.3.4.	<i>Virus</i>	13
2.6.3.5.	<i>Archaea</i>	13
2.6.4.	<i>Usos potenciales de los microorganismos</i>	13
2.6.5.	<i>Suelo</i>	14
2.6.6.	<i>Microorganismos y su influencia en las características físicas y químicas suelo</i>	14
2.6.6.1.	<i>Influencia de microorganismos en las características físicas del suelo</i>	15
2.6.6.2.	<i>Influencia de los microorganismos en las características químicas del suelo</i>	16
2.6.7.	<i>Bosques nativos</i>	17
2.6.8.	<i>Plantaciones forestales</i>	18
2.6.8.1.	<i>Importancia de las plantaciones forestales</i>	19
2.6.9.	<i>Métodos de aislamiento de microorganismos</i>	20
2.6.9.1.	<i>Aislamiento de microorganismos benéficos</i>	20
2.6.9.2.	<i>Técnicas de siembra y aislamiento de bacterias y levaduras</i>	21
2.6.9.3.	<i>Cultivo de hongos filamentosos</i>	23
2.6.9.4.	<i>Aplicación de microorganismos benéficos en el compostaje de residuos orgánicos</i> ..	23
2.6.10.	<i>Metodologías de Caracterización de microorganismos</i>	24
2.6.10.1.	<i>Métodos basados en criterios morfológicos</i>	24
2.6.11.	<i>Medios de cultivo para microorganismos</i>	25
2.6.12.	<i>Incidencia en la población microbiana de los Bioinsumos en plantaciones forestales</i> 26	

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	27
3.1.	Caracterización del lugar	27
3.1.1.	<i>Localización</i>	27
3.1.2.	<i>Precipitación</i>	27
3.1.3.	<i>Temperatura</i>	27
3.1.4.	<i>Humedad</i>	27
3.1.5.	<i>Relieve y suelos</i>	28
3.1.6.	<i>Materiales e equipos</i>	28

3.6.2.	<i>Metodología</i>	29
3.6.2.1.	<i>Selección de las zonas de muestreo de suelo</i>	29
3.6.2.2.	<i>Muestreo del suelo</i>	30
3.6.2.3.	<i>Aislamiento y cultivo de microorganismos en el laboratorio</i>	32
3.6.2.4.	<i>Análisis estadístico</i>	33

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	34
4.1.	La población fúngica de las muestras de suelo	34
4.1.1.	<i>Identificación de la población microbiana</i>	34
4.2.	Hongos con características de controladores biológicos	38
4.2.1.	<i>Población Fúngica benéfica presente en el suelo de bosque</i>	40
4.2.2.	<i>Población fúngica benéfica presente en suelo de plantación forestal</i>	41
4.2.3.	<i>Análisis estadístico de la población de microorganismos</i>	41
4.3.	Discusión	46

	CONCLUSIONES	49
--	---------------------------	----

	RECOMENDACIONES	50
--	------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Microorganismos benéficos y sus funciones.....	9
Tabla 2-2:	Resumen con las principales propiedades diferenciadoras entre bacterias Gram positivas y bacterias Gram negativas.	24
Tabla 1-3:	Relieve de la Parroquia Santiago de Quito.....	28
Tabla 2-3:	Coordenadas de sitios para el muestreo del suelo	31
Tabla 1-4:	Frecuencia Absoluta y Relativa de la población microbiana del Bosque y Plantación de la Corporación Sumak Tarpuy	34
Tabla 2-4:	Resumen y análisis comparativo de la cantidad de microorganismos de bosque plantación forestal en UFC/g en diferentes medios de cultivo.....	42
Tabla 3-4:	Análisis de Varianza para número de colonia bacterias en AN/Bac (UFC/g)...	42
Tabla 4-4:	Análisis de la Varianza para número de colonias de hongos en PDA (UFC/g)	43
Tabla 5-4:	Análisis de Varianza para número de colonias de actinobacterias en GYM/Actibac (UFC/g).....	44
Tabla 6-4:	Cuadro de Análisis de la Varianza población de microorganismos benéficos..	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Dilución en serie de una muestra (suelo).	21
Ilustración 1-3:	Sitio de recolección de muestras de suelo	29
Ilustración 2-3:	Esquema de toma de submuestra en Zig-Zag.....	30
Ilustración 1-4:	Frecuencia Relativa de la población microbiana del Bosque y Plantación de la Corporación Sumak Kawsay.	35
Ilustración 2-4:	Frecuencia Absoluta de la población microbiana del Bosque y Plantación de la Corporación Sumak Tarpuy.	37
Ilustración 3-4:	Número de hongos beneficiosos y perjudiciales presentes en el suelo del bosque.....	40
Ilustración 4-4:	Número de hongos beneficiosos y perjudiciales encontrados en una muestra de suelo de plantación forestal.	41
Ilustración 5-4:	Colonia de bacterias en el medio AN (UFC/g)	42
Ilustración 6-4:	Colonia de hongos en el medio PDA (UFC/g).....	43
Ilustración 7-4:	Colonia de actinobacterias en el medio GYM (UFC/g)	44

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** RECONOCIMIENTO DEL ÁREA DE ESTUDIO
- ANEXO B:** DESINFECCIÓN DE MATERIALES PARA RECOLECCIÓN DE SUELO
- ANEXO C:** RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO
- ANEXO D:** FASE DE LABORATORIO
- ANEXO E:** MONITOREO DE CRECIMIENTO DE COLONIAS ALAS 45H
- ANEXO F:** AISLAMIENTO DE MICROORGANISMOS
- ANEXO G:** CONSERVACIÓN DE MUESTRAS EN CRIOVIAL
- ANEXO H:** ANOVA Y PRUEBA DE TUKEY PARA AN/BAC (UFC/G)
- ANEXO I:** ANOVA Y PRUEBA DE TUKEY PDA/HONGOS (UFC/G)
- ANEXO J:** ANOVA Y PRUEBA DE TUKEY PARA GYM/ACTIBAC (UFC/G)
- ANEXO K:** ANOVA Y PRUEBA DE TUKEY PARA POBLACIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS
- ANEXO L:** BASE DE DATOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN MICROBIANA
- ANEXO M:** POBLACIÓN MICROBIANA IDENTIFICADA

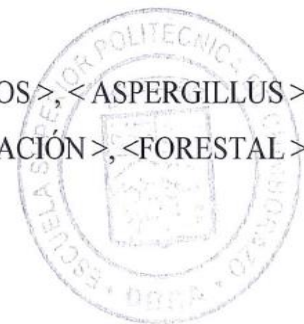
RESUMEN

La corporación Sumak Tarpuy no cuenta con información sobre los microorganismos benéficos presentes en los suelos de sus bosques nativos y plantaciones forestales, lo que genera desconocimiento acerca de sus propiedades beneficiosas y potenciales usos. En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue aislar microorganismos benéficos a partir de los suelos de bosque nativo y plantación forestal de la corporación Sumak Tarpuy, ubicada en el cantón Colta de la provincia de Chimborazo. La metodología utilizada combinó enfoques cualitativos y cuantitativos y se implementó un diseño experimental DCA monofactorial. Los microorganismos fueron aislados de las muestras de suelo mediante la técnica de dilución serial y se identificaron y describieron las colonias fúngicas a través del registro de características de la colonia en cultivo puro, así como de la observación bajo el microscopio de las estructuras del micelio, estructuras reproductivas y/o esporas para homologar y establecer la familia y/o género al que pertenecen los cultivos obtenidos. Posteriormente, se utilizó la literatura científica para identificar aquellos hongos con potencial de control biológico de enfermedades y plagas. Como resultado, se aislaron un total de 18 categorías de hongos en el bosque, siendo las más comunes *Aspergillus spp*, *Colletotrichum spp*, *Lasiodiplodia spp* y levaduras, y 12 categorías de hongos en la plantación forestal, siendo las más comunes *Aspergillus piperis*, *Aspergillus spp*, *Penicillium spp* y levaduras. Además, se aislaron hongos benéficos o con potencial de control biológico de enfermedades y plagas, como *Metarhizium spp*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma koningiopsis* y *Trichoderma spp*. En conclusión, los resultados del estudio demuestran que la diversidad microbiana es mayor en el bosque nativo que en la plantación forestal, lo que puede tener consecuencias en la salud de los ecosistemas forestales, la gestión forestal y la conservación de la biodiversidad.

Palabras clave: <MICROORGANISMOS BENÉFICOS>, <HONGOS>, <ASPERGILLUS>, <TRICHODERMA>, <METARHIZIUM>, <BOSQUE>, <PLANTACIÓN>, <FORESTAL>.



DBRA
Escuela Superior Politécnica del Chimborazo
Ing. Cristian Cuello



0979-UPT-DBRA-2023

ABSTRACT

The Sumak Tarpuy Corporation does not have information on the beneficial microorganisms present in the soils of its native forests and forest plantations, which generates a lack of knowledge about their beneficial properties and potential uses. In this context, the objective of this research was to isolate beneficial microorganisms from native forest and forest plantation soils of the Sumak Tarpuy corporation, located in the Colta canton of Chimborazo province. The methodology used combined qualitative and quantitative approaches and a single-factorial DCA experimental design was implemented. The microorganisms were isolated from soil samples using the serial dilution technique and fungal colonies were identified and described through the recording of colony characteristics in pure culture, as well as the observation under the microscope of mycelial structures, reproductive structures and/or spores to homologate and establish the family and/or genus to which the cultures obtained belong. Subsequently, scientific literature was used to identify those fungi with potential for biological control of diseases and pests. As a result, a total of 18 categories of fungi were isolated in the forest, the most common being *Aspergillus* spp, *Colletotrichum* spp, *Lasiodiplodia* spp and yeasts, and 12 categories of fungi in the forest plantation, the most common being *Aspergillus piperis*, *Aspergillus* spp, *Penicillium* spp and yeasts. In addition, beneficial fungi or fungi with potential for biological control of diseases and pests were isolated, such as *Metarhizium* spp, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma koningiopsis* and *Trichoderma* spp. In conclusion, the results of the study demonstrate that microbial diversity is higher in native forest than in forest plantation, which may have implications for the health of forest ecosystems, forest management and biodiversity conservation.

Key words: <BENEFICIAL MICROORGANISMS >, <FUNGI >, <ASPERGILLUS >, <TRICHODERMA>, <METARHIZIUM >, < FOREST >, <PLANTATION >, <FORESTAL >.



Lda. Elsa Basantes A. Mgs

C.I: 0603594409

INTRODUCCIÓN

A pesar de la aparente hostilidad, el suelo es el hábitat de innumerables seres vivos. La mayoría de la biomasa viviente de nuestro planeta se alberga en el suelo. A escala microscópica se encuentran bacterias, algas, protozoos y hongos. Subiendo la escala de tamaños encontramos nematodos, artrópodos, gusanos y moluscos (Life y Vida sana, 2012: p.1).

Los microorganismos son los seres más primitivos y numerosos que existen en la Tierra, colonizan todo ambiente: suelo, agua y aire; participan de forma vital en todos los ecosistemas y están en interacción continua con plantas, animales y el hombre. De igual importancia, son fundamentales en los sistemas biológicos y la preservación de la vida en el planeta, permitiendo los procesos metabólicos, ecológicos y biotecnológicos de los que el ser humano depende para su supervivencia y enfrentar los retos del futuro (Montaño et al., 2007a: p.1).

Entre los distintos tipos de microorganismos que pueden existir en el suelo, un grupo en particular de microorganismos destacan por sus efectos positivos; los llamados microorganismos benéficos. De acuerdo con Sabas et al. (2010: p. 6) este grupo comprende una colección heterogénea de microorganismos como bacterias del ácido láctico, levaduras, bacterias fotosintéticas, actinomicetos y hongos, los cuales actúan en la naturaleza de manera positiva.

El término microorganismos benéficos y su estudio fue desarrollado por el Doctor Teruo Higa, Profesor de Horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón en los años 80 (Arias, 2010, p.1). Originalmente, los microorganismos benéficos fueron concebidos como los mejores aliados en la producción agrícola orgánica, pero en la actualidad tienen una amplia gama de nuevas aplicaciones, como en medicina, ambiente, sector ganadero, silvicultura y agricultura (Safwat y Matta, 2021: p.3)

Los microorganismos del suelo representan el componente esencial del sistema biótico en los bosques (Lillo et al., 2011: p. 47), es así que, en un estudio realizado en 8 zonas de tres ecosistemas del bosque andino, Colombia, se confirmó la existencia de más de 700 especies de bacterias y hongos con usos potenciales en medicina animal, vegetal y farmacología (UNC, 2022, p. 2).

Por otro lado, las plantaciones forestales son monocultivos y por ende considerado menos biodiversos, no obstante, sus suelos están constituidos por una gran cantidad de sustancias orgánicas y minerales, disponibles como fuentes de carbono y energía, lo que crea un ambiente favorable para la proliferación de microorganismos (Rodríguez et al., 1993: p.59). Partiendo de esta idea, un estudio realizado por Morales (2016, pp. 1-45) en el que se evaluó la existencia de

microorganismos edáficos en cuatro plantaciones forestales, reportó la existencia de colonias de bacterias (amilolíticas, amonificantes) y población fúngica (proteolíticos, amilolíticos).

Considerando lo importante que son los microorganismos tanto para la naturaleza y para los seres humanos, su estudio y comprensión cobra mucha importancia. En ese sentido, desde hace tiempo se han desarrollado una serie de técnicas de aislamiento y caracterización de microorganismos los cuales constituyen uno de los avances más notables de la ciencia.

En la actualidad, hay un enfoque por parte de los biólogos, microbiólogos y ecólogos en el estudio de las comunidades microbianas presentes en el suelo con el fin de identificar microorganismos beneficiosos que puedan ser empleados en la agricultura. Estos microorganismos pueden actuar como agentes protectores de los cultivos contra plagas o enfermedades, o bien, pueden funcionar como biofertilizantes que sean amigables con el medio ambiente. (Enriquez et al., 2010: p.2).

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El suelo es un ecosistema muy complejo, éste podría ser considerado como un microcosmos donde minerales y materia orgánica (viva o muerta), el agua y el aire, comparten un espacio de gran actividad físico-química. El suelo es una combinación de fases que interactúan íntimamente entre ellas en un sistema que no tiene comparación (Osorio, 2009, p.44), todo esto convierte al suelo en un excelente medio de cultivo para el crecimiento y desarrollo de diversos microorganismos (Balasubramanian, 2017, p.1). Entre estos se encuentran los denominados microorganismos benéficos los cuales son una comunidad microbiana formada por hongos y bacterias de suelos forestales y con potencial benéfico (Avila et al., 2021: p.2).

Montaño et al. (2007b: p.16) mencionan que las técnicas modernas de caracterización de microorganismos revelan la existencia de miles de millones de especies de microorganismos; no obstante, se estima que tan solo se conoce el 3% de microorganismos y que no se ha estudiado a profundidad su relación con los demás seres vivos. Por ejemplo, en un gramo de suelo pueden encontrarse 10.000 especies diferentes de microorganismos, muchos de ellos no conocidos, debido a que no pueden ser cultivados. Tal diversidad es también complementada con una alta densidad de microorganismos. En general, en un gramo de suelo seco es posible encontrar 106-108 bacterias, 106-107 actinomicetos y 104-105 hongos (Torsvik et al., 1990: p.776-781).

En este sentido, pese a que Ecuador cuenta con gran diversidad de suelos de bosques, según el INIAP (2008, p.1) existen escasos estudios de caracterización de microorganismos benéficos de sus suelos, por lo que en gran medida se desconoce los potenciales usos, sobre todo el manejo de las mismas in situ. Sucede lo mismo a nivel local, en este caso, no existe información de los microorganismos benéficos asociada a suelos de bosques nativo y plantaciones forestales de la Corporación Sumak Tarpuy, generando un desconocimiento de sus propiedades benéficas y potenciales usos, en este contexto, la información recabada en este estudio será un insumo importante para estudiar la aplicación de estos microorganismos benéficos en procesos de descomposición de residuos sólidos o en su defecto en la aceleración de procesos de compostaje.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Aislar microorganismos benéficos a partir de suelos de bosque nativo y plantación forestal de la Corporación Sumak Tarpuy, en cantón Colta, provincia de Chimborazo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la población fúngica de las muestras de suelo
- Separar hongos para control biológico de enfermedades y plagas

1.3. Justificación

Desde todo punto de vista y para cualquier sistema de producción agrícola resulta muy importante el conocimiento de las comunidades microbianas de los suelos y los potenciales aportes de este en el mejoramiento de la calidad del suelo y sus usos (Vásconez, 2022, p. 2). Por tal razón, el propósito del presente estudio es aislar microorganismos benéficos a partir de suelos de bosque nativo y plantación forestal de la corporación Sumak Tarpuy, en el cantón Colta, provincia de Chimborazo.

Los resultados de esta investigación ayudarán a construir una línea base de información sobre la existencia o no de microorganismos benéficos en los suelos de los límites del área de investigación. De esta manera, la información que se obtenga en este estudio disminuirá el desconocimiento sobre los microorganismos benéficos por parte de la organización y ampliará las posibilidades de su uso en sus actividades agrícolas como control de plagas o enfermedades.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis Nula

En el suelo de bosque nativo y plantación forestal de la Corporación Sumak Tarpuy existen igual número de microorganismos benéficos.

1.4.2. Hipótesis Alternativa

Existe mayor presencia de microorganismos benéficos en el suelo de bosque nativo que en el suelo de la plantación forestal de la Corporación Sumak Tarpuy.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Biodiversidad microbiana en el suelo

La biodiversidad microbiana se refiere a la variedad de microorganismos presentes en un ambiente particular, como el suelo. El suelo es el hogar de una gran variedad de microorganismos, incluidas bacterias, hongos y virus. Estos microorganismos juegan un papel importante en el ciclo de nutrientes, la formación del suelo y el crecimiento de las plantas. También ayudan a mantener la salud y la fertilidad del suelo, y pueden utilizarse en biotecnología y agricultura. La pérdida de biodiversidad microbiana en el suelo puede tener efectos negativos en la función del suelo y los servicios de los ecosistemas.

2.2. Variedad de microorganismos en el suelo

El suelo es un ecosistema complejo que alberga una gran variedad de microorganismos, incluidas bacterias, hongos y virus. Estos microorganismos juegan un papel fundamental en el mantenimiento de la salud y la productividad del suelo y son un componente esencial de la biodiversidad microbiana en el suelo.

Uno de los grupos más importantes de microorganismos en el suelo son las bacterias. Estos diminutos organismos desempeñan funciones esenciales en el ciclo de los nutrientes, descomponen la materia orgánica y liberan nutrientes principales como el nitrógeno, el fósforo y el azufre que las plantas necesitan para crecer. De igual importancia, permiten la descomposición del material vegetal muerto, lo que ayuda a recuperar los nutrientes al suelo y a mantener su fertilidad. Además, muchas bacterias forman relaciones simbióticas con las plantas, proporcionándoles nutrientes esenciales a cambio de azúcares y otros compuestos que producen las plantas.

Los hongos son otro grupo importante de microorganismos en el suelo. Al igual que las bacterias, juegan un papel clave en la descomposición de la materia orgánica y la liberación de nutrientes esenciales. Así también, cumplen con diversos roles fundamentales en la formación de la estructura del suelo, permitiendo unir las partículas del suelo y creando un ambiente poroso para que el agua y el aire circulen libremente. Además, muchos hongos forman relaciones simbióticas con las plantas, ayudándolas a absorber nutrientes y defenderse de los patógenos.

El grupo de protozoos y nematodos son miembros importantes de la microbiología del suelo. Los protozoos son organismos unicelulares que consumen bacterias y otros microorganismos, ayudando a controlar sus poblaciones y mantener el ecosistema del suelo en equilibrio. Los nematodos son pequeños gusanos que se alimentan de bacterias y otros microorganismos, así como de las raíces de las plantas. Desempeñan un papel clave en el ciclo de nutrientes y ayudan a mantener saludable el ecosistema del suelo.

La biodiversidad microbiana en el suelo también está influenciada por factores ambientales como la temperatura, la humedad y el pH. Por ejemplo, los suelos cálidos y húmedos tienden a tener una mayor diversidad microbiana que los suelos secos o fríos. Además, en otras regiones del mundo tienen distintas comunidades microbianas, las mismas que varían dependiendo de la región o localidad; estos microorganismos tienden a adaptarse a los diferentes climas y tipos de suelo.

2.3. Crecimiento de los microorganismos

Uno de los aspectos más importantes de los microorganismos es su capacidad de crecer y multiplicarse rápidamente, lo que se conoce como crecimiento.

El crecimiento de microorganismos está influenciado por varios factores, incluyendo la temperatura, el pH y la disponibilidad de nutrientes. La temperatura es uno de los factores más importantes que influyen en el crecimiento de los microorganismos. Los diferentes tipos de microorganismos tienen diferentes rangos de temperatura en los que crecen mejor. Por ejemplo, las bacterias mesófilas crecen mejor a temperaturas entre 20 y 45 grados centígrados, mientras que las bacterias termófilas crecen mejor a temperaturas entre 45 y 80 grados centígrados. Por el contrario, las bacterias psicrófilas crecen mejor a temperaturas por debajo de los 20 grados centígrados.

El pH también juega un papel crítico en el crecimiento de microorganismos. Cada tipo de microorganismo tiene un rango de pH específico en el que crece mejor. En general, la mayoría de los microorganismos crecen mejor a un pH neutro de 7,0, pero algunos pueden crecer a un pH tan bajo como 4,5 o tan alto como 10,0. El pH de un ambiente puede afectar el crecimiento de microorganismos al alterar la disponibilidad de nutrientes y la actividad de las enzimas.

La disponibilidad de nutrientes es otro factor crítico que influye en el crecimiento de los microorganismos. Los microorganismos requieren varios nutrientes, como carbohidratos, proteínas y lípidos, para crecer y multiplicarse. La disponibilidad de estos nutrientes puede afectar

la tasa de crecimiento y el tamaño de la población de microorganismos. Por ejemplo, si un microorganismo se cultiva en un ambiente rico en nutrientes, crecerá más rápido y alcanzará un tamaño de población mayor que si se cultiva en un ambiente pobre en nutrientes.

El crecimiento de microorganismos tiene varias implicaciones tanto para el medio ambiente como para la salud humana. En el ambiente, los microorganismos juegan un papel vital en el ciclo de nutrientes, la descomposición y el mantenimiento de la biodiversidad. También contribuyen a la producción de suelo, agua y aire. En la salud humana, los microorganismos son responsables tanto de efectos beneficiosos como perjudiciales. Los microorganismos beneficiosos son esenciales para la fermentación de alimentos y la producción de antibióticos, mientras que los microorganismos dañinos pueden causar infecciones y enfermedades.

2.4. Microorganismos nativos

Los microorganismos nativos, también conocidos como microorganismos indígenas, son aquellos que están naturalmente presentes en un ecosistema particular. Estos microorganismos juegan un papel fundamental en el mantenimiento del equilibrio y la salud de su entorno.

Una de las funciones más importantes de los microorganismos nativos es el ciclo de nutrientes. Los microbios son responsables de descomponer la materia orgánica y devolver los nutrientes vitales al suelo. Este proceso, conocido como descomposición, es esencial para el crecimiento y supervivencia de las plantas y otros organismos. Por ejemplo, las bacterias y los hongos descomponen el material vegetal muerto y liberan nitrógeno, fósforo y otros elementos necesarios para el crecimiento de nuevas plantas. Este proceso también es fundamental para mantener la fertilidad del suelo.

Los microorganismos nativos también juegan un papel vital en el control de enfermedades. Muchos microorganismos, como ciertos tipos de bacterias, actúan como patógenos naturales, manteniendo bajo control las poblaciones de otros organismos. Por ejemplo, ciertas bacterias pueden inhibir el crecimiento de patógenos dañinos, como *E. coli* o *salmonella*, que pueden causar intoxicación alimentaria. Otros microorganismos actúan como agentes de biocontrol, ayudando a suprimir el crecimiento de plagas y enfermedades dañinas.

Además, los microorganismos nativos tienen una gran aplicación en biotecnología, se utilizan en la elaboración de diversos productos como alimentos, fármacos, biocombustibles y bioplásticos. Por ejemplo, ciertas cepas de bacterias se pueden usar para fermentar alimentos y bebidas, como

yogur, cerveza y queso. Otros microorganismos se utilizan para producir enzimas, antibióticos y otros productos farmacéuticos.

Los microorganismos nativos son esenciales para el funcionamiento y la salud del mundo natural. Desempeñan un papel fundamental en el ciclo de nutrientes, el control de enfermedades, la biotecnología y la salud general del planeta. La importancia de los microorganismos nativos no debe pasarse por alto y se necesita más investigación para comprender completamente sus características únicas y usos potenciales en varios campos.

2.5. Microorganismos eficientes

Originalmente el concepto de los Microorganismos eficientes fue concebido y desarrollado por Teruo Higa, de la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón. El principio básico consiste en una mezcla de microorganismos que se encuentra naturalmente en el suelo del que se puede aislar y aplicarse como inoculante con el fin de aumentar la diversidad microbiana de los suelos y las plantas (Alvarez, 2018, p.31)

Son un grupo muy grande de organismos que viven en el suelo (bacterias, hongos, actinomicetos), cumplen muchas funciones como: mantener el orden de los ciclos normales de múltiples sustancias y especialmente degradar, transforman diversos materiales para que sean aprovechados en la nutrición de las plantas. Esta labor es permanente y gracias a ella la vida en el suelo se mantiene (Feijoo y Reinaldo, 2016: p.32).

De acuerdo con lo reportado por Arias (2010, pp. 42-45) menciona que los microorganismos benéficos son un consorcio formado por: bacterias fotosintéticas, bacterias ácido-lácticas, levaduras, actinomicetos, hongos filamentosos y otros. Por otra parte, Balarezo, (2019, p.19), concibe como una conformación de microorganismos anaeróbicos y aeróbicos capacitados para proliferar en cualquier tipo de ecosistema, que aprovechan el contenido de materia orgánica, mejorando el proceso de descomposición.

Una característica importante de los microorganismos benéficos es su capacidad de descomponer la materia orgánica en menos tiempo a través de la fermentación y no de la pudrición. Evitando, la aparición de moscas y otros insectos diferenciándose de procesos anaeróbicos, donde es típico la presencia de población de insectos plaga (Olave, 2019, p.20).

El uso de microorganismos benéficos ha aumentado en varias áreas, sobre todo el área ambiental, como, tratamiento de aguas residuales, procesos de compostaje y productos de limpieza. Las

condiciones óptimas de temperatura para su crecimiento son de 30-37 °C y un pH de 6.9, o rangos de 5.5 y 8.5 (Evas, 2021, p.4).

2.5.1. Importancia de los microorganismos eficientes

Dentro de la producción y sobre todo para el desarrollo sostenible en sistemas agrícolas los microorganismos juegan un papel crucial, pues estos integran prácticas para el manejo de nutrientes, control de plagas y enfermedades encaminando a la reducción de agroquímicos (Bhattacharyya, Goswami y Bhattacharyya, 2016: pp.26-41).⁹

Según Mosquera (2018, p. 29) alguna de los aspectos positivos del empleo de los microorganismos benéficos en cuanto a la gestión de residuos en pequeñas ciudades o en los gobiernos autónomos descentralizados: Reutilizar los residuos orgánicos en la producción de bio abonos (compost, humus o MOB), eliminación de más del 50% del problema en el manejo de los desechos orgánicos prolongando la vida útil de los rellenos sanitarios, lo cual disminuye el impacto ambiental. Otro beneficio desde el punto de vista de la producción agrícola mejoraría la productividad, disminuiría la contaminación, y recuperaría los suelos, y por ende la población rural mejoraría su economía.

2.5.2. Tipos de microorganismos eficientes

Las principales especies incluidas en el grupo de los microorganismos benéficos son las bacterias del ácido láctico, bacterias fotosintéticas, levaduras, actinomicetos y hongos. No obstante, los hongos en su mayoría son los que mayores beneficios tienen hongos (Xu, 2000, p.186).

Tabla 1-2: Microorganismos benéficos y sus funciones

Tipo de microorganismos	especies	Función
Bacterias fotosintéticas	<i>Rhodospseudomonas palustris</i> <i>Rhodobacter spaeroides</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de aminoácidos, amino nucleico • Fijar nitrógeno del aire • Convertir tóxicos gases
Levaduras	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Candida utilis</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Promueve la Fermentación y el crecimiento de la planta • Produce sustancias bioactivas • Sirve de Sustrato para otro Microorganismos Eficientes
Bacterias del ácido láctico	<i>Lactobacillus plantarum</i> <i>L. Casei</i> <i>treptococcus lactis</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Aceleración de la descomposición y fermentación • Suprimir y reducir los patógenos
Actinomicetos	<i>Streptomyces albus</i> <i>S. griseus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Produce sustancias antibacteriales
Hongos de fermentación	<i>Aspergillus oryzae</i> <i>Mucor hiemalis</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ayuda a descomponer la materia orgánica. • Sintetiza aminoácidos y glucosa de carbohidrato • Control los olores

Fuente: Aminah et al., 2016

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023.

2.6. Microorganismos de tierra de bosque

Los microorganismos del suelo forestal incluyen un grupo diverso de microorganismos que desempeñan funciones importantes en el funcionamiento de los ecosistemas forestales. Estos microorganismos incluyen bacterias, hongos, arqueas y protozoos

El suelo de un bosque tropical maduro tiene numerosos microorganismos e invertebrados descomponedores encargados de regenerar el ciclo de nutrientes. Estos organismos permiten la fijación de nitrógeno y fósforo, brindando ayuda extra a la asimilación de fósforo; en consecuencia, cuando desaparece el bosque estos microorganismos también desaparecen del suelo (Granda, 2015, p.32).

Los microorganismos del bosque o también conocidos como microorganismos de montaña (MM), están constituidos por colonias de hongos, bacterias y levaduras benéficas que se encuentran de manera natural en diferentes ecosistemas, en los cuales se genera una descomposición de materia orgánica, que se convierte en los nutrientes necesarios para el desarrollo de su flora (por ejemplo, bosques mixtos y latifoliados, plantaciones de café, plantaciones de bambú, entre otros.) (Campo-Martínez et al., 2014: pp.79-87).

2.6.1. Funciones de los microorganismos de bosque

En los suelos de los ecosistemas forestales los microorganismos cumplen una función primordial, puesto que intervienen en la mayoría de las transformaciones de nutrientes. El equilibrio y el desarrollo sostenible de estos ecosistemas se apoyan en las transformaciones de nutrientes y interacciones entre el componente superficial y subterráneo del suelo (You et al., 2014: p.633).

Dentro de los procesos biológicos (ciclos biogeoquímicos) el microbiota del suelo cumple una gama de funciones. Debido a la existencia de perfiles de suelo, las bacterias y hongos tienden a acumularse en distintos puntos, estos puntos son conocidos como “hots spots o zonas calientes” los cuales son regiones de interés para la actividad biología que tiene lugar frente a las condiciones estándar del suelo (Acosta y Leguizamo, 2020: p.23).

Las bacterias son los microorganismos más numerosos en los suelos del bosque y juegan un papel fundamental en el ciclo de nutrientes. Descomponen el material vegetal muerto y lo convierten en formas que pueden ser absorbidas por las plantas. También juegan un papel clave en el ciclo del nitrógeno, fijando el nitrógeno atmosférico en una forma que las plantas puedan utilizar.

Los hongos también son un componente importante de los suelos del bosque. Descomponen el material leñoso y forman importantes relaciones simbióticas con las raíces de las plantas, conocidas como micorrizas. Estas relaciones ayudan a las plantas a acceder a los nutrientes y al agua del suelo.

Las arqueas y los protozoos son menos comunes en los suelos de los bosques, pero también juegan un papel importante. Las arqueas participan en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo del nitrógeno, mientras que los protozoos son importantes depredadores de bacterias y otros microorganismos.

2.6.2. Factores que afectan el crecimiento microbiano

De acuerdo con *el United States Food and Drugs Administration* (2013, p.1) los principales factores que tienen influencia en el crecimiento microbiano son las siguientes:

2.6.2.1. Temperatura

Los microorganismos tienen diferentes rangos de temperatura para un crecimiento óptimo, algunos prefieren temperaturas cálidas y otros prefieren temperaturas frías.

2.6.2.2. Ph

La acidez o alcalinidad de un medio puede afectar en gran medida el crecimiento microbiano. La mayoría de los microorganismos prefieren un pH neutro de alrededor de 7, pero algunos pueden sobrevivir en condiciones de pH extremas.

2.6.2.3. Nutrientes

Los microorganismos requieren nutrientes específicos para crecer y multiplicarse, como carbohidratos, proteínas y minerales. La disponibilidad de estos nutrientes puede influir en gran medida en el crecimiento microbiano.

2.6.2.4. Oxígeno

Los microorganismos se clasifican en diferentes grupos en función de sus necesidades de oxígeno. Algunos microorganismos requieren oxígeno para crecer, mientras que otros pueden sobrevivir en condiciones anaeróbicas.

2.6.2.5. *Luz*

La luz puede afectar el crecimiento de ciertos microorganismos, como las bacterias fotosintéticas y las algas.

2.6.2.6. *Humedad*

Los microorganismos requieren una cierta cantidad de humedad para crecer. Demasiada o muy poca humedad puede inhibir el crecimiento.

2.6.2.7. *Antibióticos y otros inhibidores*

ciertas sustancias químicas, como los antibióticos y los agentes antimicrobianos, pueden inhibir el crecimiento microbiano al impedir el crecimiento de ciertos microorganismos.

2.6.2.8. *Competencia*

los microorganismos también pueden competir entre sí por los recursos, lo que puede influir en su crecimiento y supervivencia.

2.6.2.9. *Factores ambientales*

los microorganismos también se ven afectados por factores ambientales como la contaminación, la radiación y el cambio climático.

2.6.3. ***Principales grupos microbianos***

De acuerdo con Trivedi et al. (2010: pp.1-457) Entre los principales grupos están:

2.6.3.1. *Bacterias*

Un grupo diverso de microorganismos que se encuentran en casi todos los ambientes de la Tierra. Se pueden clasificar según su forma (coco, bacilo, espiral, etc.), metabolismo (aeróbico, anaeróbico, etc.) y características genéticas.

2.6.3.2. *Hongos*

un grupo diverso de organismos eucariotas que se pueden encontrar en casi todos los entornos de la Tierra. Se pueden clasificar en función de su morfología (levaduras, mohos, etc.) y características genéticas.

2.6.3.3. *Protistas*

un grupo diverso de organismos eucariotas que se encuentran en casi todos los entornos de la Tierra. Se pueden clasificar en función de su morfología (unicelulares, pluricelulares, etc.) y características genéticas.

2.6.3.4. *Virus*

un grupo diverso de agentes infecciosos que no se consideran organismos vivos, ya que no pueden reproducirse por sí solos, sino que solo pueden replicarse dentro de las células huésped. Se pueden clasificar según su material genético (ADN o ARN), forma y estrategias de replicación.

2.6.3.5. *Archaea*

un grupo diverso de microorganismos que se encuentran en una variedad de ambientes extremos, como aguas termales, salinas y respiraderos hidrotermales de aguas profundas. Se clasifican en función de sus características genéticas y se consideran un dominio de vida separado de las bacterias y los eucariotas.

2.6.4. *Usos potenciales de los microorganismos*

Según Rojas (2014, p.20), algunos beneficios de los microorganismos benéficos en las siguientes áreas:

Compostaje: Al ponerse en contacto con los residuos aumentan la eficiencia de la descomposición mejorando el compost, reducen los olores desagradables, inhiben a los patógenos, y, aumentan la disposición de nutrientes.

Producción animal: Aumenta la calidad del alimento y agua; además, previenen infecciones, suprimen agentes patógenos, malos olores y crean ambientes saludables.

Agricultura: Promueven el crecimiento de las especies vegetales, optimizan la fotosíntesis y eliminan patógenos en el suelo.

Depuración de aguas: Contribuyen en la reducción de la contaminación orgánica, química y microbiológica de las aguas servidas.

Limpieza industrial y doméstica: Descomponen elementos orgánicos perjudiciales y suprimen patógenos.

Biorremediación: Los microorganismos se utilizan para limpiar suelos y aguas contaminados mediante la descomposición de contaminantes y compuestos tóxicos.

Fermentación: Los microorganismos como la levadura y las bacterias se utilizan en la producción de alimentos y bebidas fermentadas, como la cerveza, el vino, el pan y el yogur.

Biotechnología: los microorganismos se utilizan en la producción de diversos productos, como enzimas, hormonas, antibióticos y vacunas.

Agricultura: Los microorganismos se utilizan para mejorar la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas, y para controlar plagas y enfermedades.

Procesos industriales: los microorganismos se utilizan para producir productos químicos, como etanol y ácido láctico, y para tratar corrientes de desechos industriales.

Monitoreo ambiental: los microorganismos se utilizan para monitorear la salud de los ecosistemas, como ríos y océanos, midiendo la abundancia y diversidad de las poblaciones microbianas.

Producción de biogás: Los microorganismos se utilizan para producir biogás a partir de desechos orgánicos, como desechos de alimentos y estiércol animal, como fuente de energía alternativa.

Aplicaciones médicas: Los microorganismos se utilizan en la producción de antibióticos y otros fármacos, así como en pruebas de diagnóstico de enfermedades.

2.6.5. Suelo

El suelo es un recurso vivo, dinámico y no renovable, constituido por diferentes componentes bióticos y abióticos, como aire, agua, materia orgánica, macro- y microorganismos. Además, su calidad influye directamente en la producción de alimentos, en las condiciones ambientales del lugar y en el equilibrio global. Por esta razón, el suelo es un componente fundamental del ecosistema, cuyo estudio requiere de un enfoque interdisciplinar (Moreno et al., 2020: p. 11)

2.6.6. Microorganismos y su influencia en las características físicas y químicas del suelo

Los microorganismos juegan un papel fundamental en la mejora de las características fisicoquímicas del suelo. Ayudan a descomponer la materia orgánica, lo que aumenta la capacidad de retención de agua, la aireación y el contenido de nutrientes del suelo. Además, los microorganismos pueden ayudar a formar agregados de suelo estables, que mejoran la estructura y la porosidad del suelo. Esto permite una mejor penetración de las raíces y la infiltración del

agua, lo que conduce a un mejor crecimiento de las plantas y a la salud general del suelo (Bhatti y Qureshi, 2005: pp.233-242)

2.6.6.1. Influencia de microorganismos en las características físicas del suelo

Mejoran la estructura del suelo con la formación y estabilización de agregados, por medio de la excreción de compuestos que aglutinan las arcillas y material orgánico. Estos agregados dan lugar a macro y microporos que pueden almacenar aire y agua. Los poros más grandes contribuyen al drenaje de agua e intercambio de aire para mantener los procesos de respiración de raíces y microbios. Los poros pequeños retienen agua que las raíces pueden absorber (Herrera, 2021, p.2).

Los efectos benéficos de las bacterias del suelo son amplios y van desde la fijación de nitrógeno y la descomposición de la materia orgánica hasta la hidrólisis de agroquímicos y subproductos metabólicos, y el mejoramiento de la biodisponibilidad de nitratos, sulfatos, fosfatos y metales esenciales (Carrillo, 2013, pp.69-118).

El rol de los hongos es diverso: contribuyen a la estructura del suelo, agregan partículas, penetran poros y fisuras de rocas y minerales, proceden a la invasión biomecánica de sustratos sólidos y el traslado de nutrientes inorgánicos y orgánicos, producen exopolímeros, intervienen en la retención y la migración de agua, forman cordones miceliares que favorecen el traslado de nutrientes, actúan como reservorio de nitrógeno y otros elementos, son responsables de la colonización o infección de plantas e insectos (Carrillo, 2013, pp.69-118)

Los procesos biológicos pueden mejorar la estructura del suelo. Algunas bacterias y hongos pueden producir sustancias durante la descomposición de la materia orgánica que unirán química o físicamente las partículas del suelo en micros agregados. Por ejemplo, las hebras de hifas de los hongos pueden unirse entre las partículas del suelo, lo que ayuda a formar agregados. Un gramo de suelo contendrá más de mil millones de microorganismos y varios kilómetros de hifas fúngicas (Durnford, 2021, p.2).

Los microbios del suelo son importantes para el desarrollo de una estructura saludable del suelo. Estos microorganismos producen una gran cantidad de sustancias “gomosas” como polisacáridos y mucílagos extracelulares que pueden unir las partículas del suelo en agregados (Durnford, 2021, p. 3)

Los microorganismos intentarán activamente crear un hábitat que sea más adecuado para ellos, que casi siempre es un suelo con una estructura fuerte. Si su hábitat es más propicio para el ciclo

de nutrientes, intentarán activamente recrear las condiciones de ese hábitat en el suelo a través de la producción de polisacáridos y la extensión de hifas fúngicas por todo el suelo (Durnford, 2021, p.4).

2.6.6.2. Influencia de los microorganismos en las características químicas del suelo

De acuerdo con Dasgupta y Brahma Prakash (2021: pp.59-71) los microorganismos desempeñan distintas funciones químicas en el suelo, entre las principales son las siguientes:

- **Fijación de nitrógeno:** los microorganismos, como las bacterias fijadoras de nitrógeno y las cianobacterias, convierten el nitrógeno atmosférico en una forma que las plantas pueden utilizar, lo que aumenta la disponibilidad de nitrógeno en el suelo.
- **Solubilización de fósforo:** Los microorganismos como las bacterias productoras de fosfatasa pueden convertir formas insolubles de fósforo en una forma que las plantas puedan absorber, aumentando la disponibilidad de fósforo en el suelo.
- **Descomposición de materia orgánica:** Microorganismos como hongos y bacterias descomponen la materia orgánica en el suelo, liberando nutrientes esenciales y mejorando la estructura del suelo.
- **Secuestro de carbono:** Los microorganismos como los hongos micorrízicos pueden ayudar a secuestrar carbono en el suelo, lo que puede mejorar la fertilidad del suelo y reducir la cantidad de carbono en la atmósfera.
- **Supresión de enfermedades:** los microorganismos, como las bacterias beneficiosas y los hongos, pueden suprimir los patógenos de las plantas, lo que ayuda a proteger los cultivos de las enfermedades.
- **Absorción mejorada de nutrientes:** los microorganismos como los hongos micorrízicos pueden formar relaciones simbióticas con las plantas, lo que ayuda a aumentar su absorción de nutrientes esenciales.
- **Agregación del suelo:** los microorganismos como los actinomicetos y los hongos pueden unir las partículas del suelo, mejorando la estructura del suelo y aumentando la retención de agua.
- **Regulación de la alcalinidad:** Los microorganismos como las bacterias que oxidan el azufre y los hongos tolerantes a los ácidos pueden ayudar a regular el pH del suelo, haciéndolo más adecuado para el crecimiento de las plantas.

El microbiota del suelo juega un papel vital en una serie de procesos cruciales a nivel del suelo. Estos procesos incluyen la descomposición de la materia orgánica, la mineralización, la formación y estabilización de agregados del suelo, la erosión de rocas y minerales, y los ciclos

biogeoquímicos. Dado su papel en la fertilidad y nutrición de las plantas, muchos expertos consideran que el microbiota del suelo es un componente esencial para mantener la salud del suelo (Charles & Wall, 1992: p.709-715).

Por ejemplo, los microorganismos son cruciales para la degradación de la materia orgánica muerta (Vega, 2013, p.2), lo que a su vez influye en el estado de la materia y en el desarrollo y equilibrio general de los ecosistemas (Smith et al., 1993: pp.65-94)

El microbiota del suelo desempeña un papel fundamental en una amplia variedad de procesos en el suelo, en algunos casos representando entre el 80 y el 90% de la actividad biológica total (Marando, 2012, p.6), Los microorganismos influyen en los ciclos biogeoquímicos y en la formación de la estructura del suelo (Roldán et al., 1994: pp.1699-1707); Además, pueden alcanzar una población de entre 10^8 y 10^9 células por gramo de peso seco, según se observa mediante microscopía. Es importante tener en cuenta que solo se ha cultivado una fracción muy pequeña de los organismos microscópicos presentes en la biomasa del suelo (Ochoa y Urroz, 2011: p.17), lo que destaca la necesidad de investigar los factores que regulan su tamaño, actividad y estructura. (Zeller et al., 2001: pp.639-649).

2.6.7. Bosques nativos

Son ecosistemas arbóreos caracterizados por la presencia de árboles y arbustos de múltiples especies que son originarias de ese hábitat, regenerados por sucesión natural, con una asombrosa biodiversidad de flora, fauna y microorganismos. Los bosques nativos se los puede clasificar como: primarios y secundarios. El bosque nativo primario, es aquel que mantiene su estructura original, de manera inalterada o con diferentes grados de intervención humana. El bosque nativo secundario es aquel cuya estructura natural ha sido alterada o intervenida por la mano del hombre (Ecuador Forestal, 2015, p.1).

Según SENPLADES (2014, p. 8) en Ecuador, la vegetación natural cubre alrededor de 15 millones de hectáreas, lo que representa aproximadamente el 57% de la superficie del país. Esta vegetación comprende diversos tipos de bosques, como bosque húmedo tropical, bosque montano, bosque andino de altura y bosque seco. De este total, el 40% se encuentra dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), mientras que el 60% restante está en manos de propietarios individuales, comunas y comunidades indígenas.

Se ha identificado que, de los 15 millones de hectáreas de vegetación natural en Ecuador, 12'261.997 hectáreas son de bosque nativo, 1'460.502 hectáreas son de páramos, 1'320.716

hectáreas son de vegetación arbustiva y 267.750 hectáreas son de vegetación herbácea. En cuanto a la remanencia de la vegetación natural por subregión, se destaca que la Llanura Amazónica tiene la mayor remanencia con un 89%, seguida de la Vertiente Oriental Andina con un 76%, la región de los Andes Sur con un 62%, la Vertiente Occidental Andina con un 54%, los Valles Interandinos con un 49% y finalmente la Costa con un 28%. (SENPLADES, 2014, p.9).

Los bosques tienen como finalidad tanto la protección de la biodiversidad como la generación sostenible de bienes y materias primas para satisfacer las necesidades humanas. Dependiendo de su objetivo, se pueden clasificar en Bosques de Protección o Bosques de Producción. Los Bosques de Producción son aptos para proveer de manera permanente bienes como madera, leña, látex, taninos, resinas, gomas, frutos, fibras, aceites esenciales, extractos para medicinas y cosméticos, entre otros. Además, estos bosques generan empleo, especialmente en las zonas rurales, creando miles de plazas de trabajo. (Ecuador Forestal, 2015, p.1).

La cobertura vegetal nativa, como los bosques nativos y los páramos, son de gran importancia debido a los servicios ambientales que ofrecen. Estos servicios incluyen la capacidad de almacenar carbono, proteger la biodiversidad, prevenir la erosión del suelo y conservar las reservas de agua dulce. Además, los bosques tienen un valor significativo en términos económicos, culturales y espirituales. (SENPLADES, 2014, p.10)

2.6.8. *Plantaciones forestales*

Los bosques creados principalmente por árboles plantados o sembrados de forma intencional se conocen como plantaciones forestales. Estos bosques son establecidos con el propósito de su uso industrial o comercial y son compuestos de especies forestales introducidas (Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones, 2007: p.23). Las plantaciones forestales también se llaman cultivos de árboles que son intervenidos directamente por el hombre con fines comerciales y están en condiciones de producir madera u otros productos. Es una práctica ampliamente utilizada en la industria forestal (Óscar et al., 2018: p.11). A lo largo de los siglos, las plantaciones forestales han sido una parte importante del uso de la tierra y han ganado mayor relevancia en las últimas décadas. En el futuro, seguirán aumentando para producir madera y generar servicios como la recuperación de tierras degradadas, la lucha contra la desertificación y la captura de carbono. De hecho, se prevé que las plantaciones forestales superarán a los bosques nativos en la producción de madera industrial en el mundo, lo que traerá consigo beneficios económicos, ambientales y sociales. (Prado, 2018, p.9)

El Ecuador cuenta con una extensión de tierra de aproximadamente 28.356.000 hectáreas, de las cuales se estima que más del 50% (alrededor de 14.4 millones de hectáreas o 130.002 km²) son de uso preferentemente forestal. Sin embargo, las plantaciones forestales apenas representan alrededor del 1.14% (alrededor de 164.000 hectáreas) de la superficie forestal del país. (Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones, 2007, p.23).

2.6.8.1. Importancia de las plantaciones forestales

Indudablemente, la producción de madera y otros productos industriales es el objetivo principal de las plantaciones forestales. Sin embargo, en los últimos años, se ha registrado un significativo aumento en la creación de plantaciones con fines de protección (Prado, 2018, p.13).

Según la FAO (2009, pp.1-18), en todo el mundo hay unos 66 millones de hectáreas de bosques seminaturales, los cuales son plantados y manejados usando métodos naturales de regeneración con el propósito principal de proteger el suelo y el agua, así como recuperar la diversidad biológica. Aunque en algunos casos se producen productos forestales no maderables en pequeña escala, estos bosques también tienen importantes funciones recreativas. Por ejemplo, Japón informa que esta es una de las principales metas de sus plantaciones forestales.

Los bosques plantados suelen desempeñar varias funciones y categorizarlos según su uso puede ser subjetivo. En general, estos recursos son multifacéticos y ofrecen una amplia gama de productos y servicios (FAO, 2006: p.1-178)

En el mundo tropical, las plantaciones forestales son una opción valiosa para la utilización del suelo. Estas plantaciones tienen un propósito doble: producción y protección, y pueden cumplir muchas de las funciones de los bosques naturales. Si se planifican adecuadamente, las plantaciones forestales pueden contribuir a mejorar y estabilizar el medio ambiente. Sin embargo, para garantizar la conservación de las especies animales y vegetales, así como de los ecosistemas locales, y asegurar la estabilidad ecológica a nivel del paisaje, se necesitarán medidas complementarias incluidas en planes integrados de desarrollo y uso de la tierra. (Barreiro, 2015, p. 13).

En los reportes de estudio realizado por Lozano y Yaguana (2021: p.31) se encontró que las plantaciones forestales de eucalipto ayudan a la estabilidad y resiliencia de áreas degradadas, por su rápido crecimiento y la diversidad de especies nativas en diferentes grupos sucesionales que crecen bajo el dosel. Además, destacan el potencial de las especies exóticas como alternativas pioneras para la recuperación de plantaciones de eucaliptos abandonados, y como modelos para la recuperación de vegetación nativa en el sotobosque, favoreciendo el establecimiento de núcleos

forestales mixtos entre exóticos y nativos. La cobertura y altura de la hojarasca influyen en la protección del suelo y la baja incidencia de luz en presencia de especies invasoras como gramíneas que pueden afectar los procesos de restauración ecológica.

2.6.9. Métodos de aislamiento de microorganismos

2.6.9.1. Aislamiento de microorganismos benéficos

Según Arias (2010, pp. 42-45), dos de los métodos más comunes para aislar cultivos de microorganismos benéficos en estado puro (axénicos) son la siembra en profundidad (con agitación de agar) y la siembra superficial por estría (en placas de Petri). De acuerdo con Reisberg et al. (2012: p.551-560), la siembra en profundidad implica el desarrollo de colonias sumergidas en lo profundo de un tubo con agar, mientras que, en la siembra superficial con placas de Petri, las colonias se desarrollan en la superficie del agar.

Existen diversos métodos para obtener cultivos de microorganismos benéficos en estado puro o axénicos a partir de un enriquecimiento. Los métodos más utilizados son la siembra superficial por estría en placas de Petri, la siembra en profundidad con agitación de agar, y la dilución en medio líquido. Para microorganismos que se desarrollan bien en medios sólidos con agar, se prefiere la siembra por estría. El método de siembra en profundidad y número más probable (NMP) consiste en diluir un cultivo mixto en tubos de agar fundido para obtener colonias embebidas en el agar. También se puede obtener cultivos axénicos mediante diluciones sucesivas en medio líquido. La técnica del número más probable (NMP) implica diluciones seriadas en las que el último tubo que muestra crecimiento se origina a partir de 10 células o menos. Repitiendo este proceso varias veces se obtienen cultivos axénicos (NMP) (Madigan et al., 2004: p.320).

Aislamiento de microorganismos por método de dilución en serie

La evaluación cuantitativa de procariotas puede ser onerosa dada su abundancia, propensión a la proliferación exponencial, diversidad de especies dentro de una población y necesidades fisiológicas específicas. Para agravar este desafío, está la naturaleza de cuatro fases en la que las bacterias se replican (retraso, registro, estacionario y muerte). La capacidad de estimar con precisión la concentración de microorganismos es necesaria para una identificación, aislamiento, cultivo y caracterización exitosos. Como tal, los microbiólogos han empleado la dilución en serie y varias técnicas de placas durante más de un siglo para cuantificar de manera confiable la carga bacteriana y viral en entornos de laboratorios clínicos, industriales, farmacéuticos y académicos (Blaize Jonathan, Suter y Corbo, 2022: pp.7-10).

La dilución en serie es la técnica más sencilla para obtener concentraciones manejables de un organismo deseado y se complementa con el esparcimiento y la distribución en placas de Petri, solo dos de las muchas técnicas de placas utilizadas por los microbiólogos. El beneficio de este enfoque es que el experimentador puede cosechar cepas puras de una sola especie o separar cepas de una población mixta (Blaize Jonathan, Suter y Corbo, 2022: pp.7-10).

Es una práctica común determinar los recuentos microbianos para muestras líquidas y sólidas: desde suspensiones de *E. coli* en caldo nutritivo hasta muestras de suelo y carne para hamburguesas. La mayoría de los especímenes tienen un número lo suficientemente alto de microorganismos que el espécimen tiene que ser diluido en serie para cuantificar de manera efectiva (Reynolds, 2005: pp.1-7).

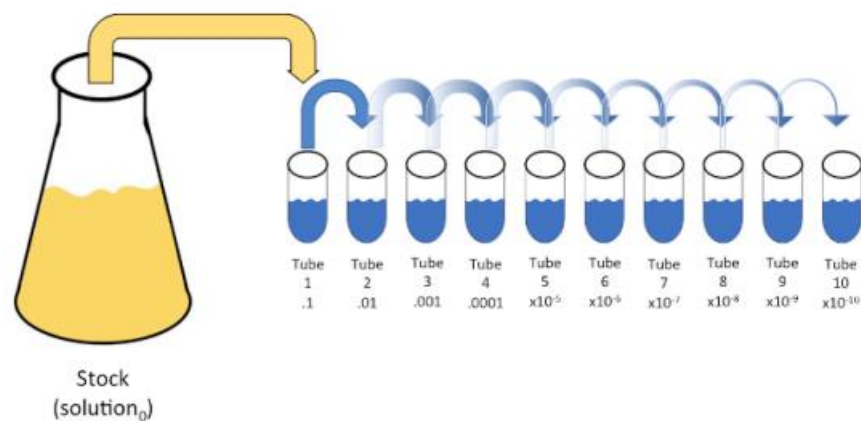


Ilustración 1-2: Dilución en serie de una muestra (suelo).

Fuente: Blaize Jonathan, Suter y Corbo, 2022

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023

2.6.9.2. Técnicas de siembra y aislamiento de bacterias y levaduras

Para facilitar la identificación y caracterización bacteriana, se emplean medios de cultivos selectivos y/o diferenciales, los cuales están enriquecidos con indicadores, colorantes e incluso sangre. La técnica más utilizada para obtener bacterias dominantes es la de estría cruzada simplificada. Es importante señalar que existen diferentes métodos de siembra, que se utilizan según la necesidad de obtener información básica o aplicada del microorganismo en estudio. Entre las técnicas más comunes se encuentran la extensión de diluciones de un cultivo en superficie de medios en la caja de Petri, la siembra por estría en la caja de Petri y la siembra en tubos con medios solidificados inclinados (Tejada et al., 2015: pp. 109-123; Tchobanoglous et al., 2014: p.427)

Según Aquihuatl et al., (2012: p.45), existen diversas técnicas de siembra que se emplean para obtener información relevante en el estudio de microorganismos. Estas técnicas incluyen la suspensión

de muestras en medios líquidos, la extensión de diluciones en la superficie de medios en cajas de Petri, la siembra por estría en cajas de Petri y tubos con medios solidificados en forma inclinada, y la siembra por piquete o picadura en tubos con medios sólidos o semisólidos. En la mayoría de los casos, el aislamiento de bacterias a partir de muestras naturales se realiza mediante la técnica de estría cruzada para producir colonias aisladas en cultivos sólidos y obtener un cultivo puro. Si se emplea la técnica de estría para aislar un microorganismo de interés de una mezcla en la que se encuentra en pequeñas cantidades, se obtendrán las bacterias dominantes. En este caso, se utilizan medios selectivos o de enriquecimiento, que contienen nutrientes especiales, antibióticos, altas concentraciones de sales y/o condiciones de pH, luz o temperatura que aumentarán la población del microorganismo de interés y facilitarán su aislamiento. Si se agregan a los medios de cultivo otros componentes, como sangre, colorantes e indicadores, es posible distinguir entre especies bacterianas por la forma en que metabolizan los sustratos, lo que se manifiesta por cambios en la apariencia del pH del medio de cultivo. Estos medios, conocidos como medios diferenciales, son muy útiles para la caracterización e identificación de especies bacterianas.

Técnica simplificada de estría cruzada.

En base a lo descrito por Aquiahuatl et al., (2012: p.18), se describe el procedimiento siguiente:

- Dividir cada una de las cajas Petri por la parte de atrás en cuatro cuadrantes. Esterilizar el asa con calor en el mechero. B. Dejar enfriar el asa y tomar la muestra de una colonia.
- Inocular la muestra haciendo 4 o 5 estrías simples muy juntas de lado a lado sobre el primer cuadrante de la caja, cerrar la caja. Flamear el asa de inoculación y hacer girar la caja Petri un cuarto de vuelta.
- Abrir nuevamente la caja y con el asa de siembra esterilizada y fría, tocar la superficie del de estrías recién hechas en un punto alejado del inicio. Hacer un segundo grupo de estrías como en el caso anterior. Realizar el mismo procedimiento en el tercer cuadrante y en el último cuadrante, sin flamear el asa de siembra hará una estría más abierta (simple).
- Las cajas con la base hacia arriba se incuban a 35°C durante 24-48 horas.

Siembra en tubos y condiciones de incubación

Aquiahuatl et al., (2012: p.19), describe el proceso de la siguiente manera:

- Después de la incubación de los cultivos, seleccionar, de las cajas Petri con AN, la colonia más aislada de cada cepa.
- Transferir con el asa, previamente esterilizada y fría, una pequeña muestra de la colonia a un tubo de CN.

- Transferir de la misma forma una muestra de la misma colonia inoculando por estría los tubos inclinados con AN y Potato Dextrosa Agar (PDA).
- Incubar los tubos a 35°C durante 24-48 hrs. Observar la aparición de colonias y reportar la forma de crecimiento de los microorganismos.

2.6.9.3. *Cultivo de hongos filamentosos*

Aquiahuatl et al., (2012: p.37) indica que los hongos filamentosos (mohos) tienen una estructura vegetativa característica denominada hifa. El conjunto de hifas ramificadas constituye el micelio. Las hifas de algunos hongos presentan tabiques transversales o septos, aunque en el caso de los hongos que pertenecen al grupo *Zygomycota*, las hifas no presentan estos septos y se conocen como hifas cenocíticas. El principal mecanismo de reproducción de los hongos es asexual por fragmentación de hifas vegetativas o por la producción de esporas en conidióforos y esporangióforos, formados en hifas aéreas, llamadas reproductivas

Siembra de hongos filamentosos

De igual manera Aquiahuatl et al., (2012: p.37), enlista los pasos fundamentales a seguir en la siembra de hongos filamentosos:

- Para sembrar los hongos filamentosos, se separa una parte de micelio de los hongos con asa de siembra, previamente esterilizada en la flama del mechero.
- Se coloca el micelio en el centro de una placa de Petri con medio por inoculación por piquete.
- Se incuban las placas de Petri en forma invertida, envueltas en papel o en una bolsa de plástico, a 28-30 °C durante 3-5 días.

2.6.9.4. *Aplicación de microorganismos benéficos en el compostaje de residuos orgánicos*

Los residuos de cultivos y los desechos animales se han compostado de manera efectiva para producir biofertilizantes (Jusoh et al., 2013: pp. 318-331). El compostaje de material orgánico con microorganismos benéficos puede mejorar o acelerar el proceso de compostaje (Sharma et al., 2014: pp. 1-9).

Varios estudios sobre el compostaje de diferentes materias orgánicas con microorganismos eficientes han identificado diferentes parámetros de temperatura, aireación, método de compostaje y material para determinar el método óptimo de producción para producir compost de calidad en poco tiempo. Basado en estos informes, el resultado óptimo del proceso de compostaje puede ser logrado en un ambiente óptimo. Por ejemplo, triturar la materia prima reducirá el tiempo

necesario para compost para ser madurado. Además, el oxígeno óptimo, la temperatura y la aireación pueden producir alta calidad de compost (Aminah et al., 2016: pp. 37-47).

Según Kumar (2013, pp. 14-17) la aplicación de microorganismos eficientes en el compostaje de materia orgánica mostró resultado positivo en el proceso de descomposición y la mineralización. Los resultados muestran que el compost con microorganismos eficientes tuvo una tasa de descomposición rápida, rico en nutrientes, más actividades microbianas, buena germinación y más rendimientos en comparación con el compost sin microorganismos.

Kumar (2013: pp. 14-17) además menciona que, el macronutriente Nitrógeno en el compost EM es mayor (1,2%) en comparación a compost sin EM (0,9%). El fósforo y el carbono orgánico también fueron más altos en el compost con EM (1,8% y 5,4%) en comparación con compost sin EM (1,2% y 5,0%). Además, se incrementa la cantidad de Potasio (K) en el compost añadido con EM (55%) en comparación en compost sin ME (17%) (Jusoh et al., 2013: pp. 318-330)

2.6.10. Metodologías de Caracterización de microorganismos

Es posible conocer las características metabólicas de los microorganismos por su inoculación en medios de cultivo con diversos sustratos que puedan ser utilizados como fuentes de energía, carbono, donadores de electrones, así como de otros nutrientes esenciales necesarios para su crecimiento (Alvarez, 2018, p. 50).

2.6.10.1. Métodos basados en criterios morfológicos

Mientras menor sea el tamaño y más sencillo sea un microorganismo se dificulta su clasificación por la amplia gama de criterios bioquímicos, serológicos, fisiológicos. Esto es lo que diferencia a un microorganismo de un organismo superior, sus rasgos anatómicos que lo hacen fácilmente clasificables. Por otro lado, para (Trabelsi y Mhamdi, 2013: p. 1-12), una herramienta clave en la identificación bacteriana basada en criterios morfológicos es sin duda las relaciones filogenéticas.

Tabla 2-2: Resumen con las principales propiedades diferenciadoras entre bacterias Gram positivas y bacterias Gram negativas.

Propiedades de las bacterias	Gram Positivas	Gram Negativas
Tinción de la pared	20 - 80 nm	10 nm
Número de capas en la pared		2
Contenidos de peptidoglicanos	45- 55%	12 - 18%
Ácido tectóico en la pared	+	-
Contenido de lípidos y lipoproteínas	0 - 3%	58%

Contenido de proteínas	0%	9%
Lipopolisacaridos	0	13%
Digestibilidad mediada por lisozimas	Si	A penas

Fuente: Mazinani, Zamani y Sardari, 2017

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023.

Cuando los microorganismos crecen sobre medios de cultivo exhiben diferencias en la apariencia macroscópica de su crecimiento, estas diferencias llamadas características culturales, son la base para la separación de ellas en grupos taxonómicos. Las características culturales de los microorganismos conocidos están consignadas en Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, (Whitman, 2008, p. 304) son determinadas por el cultivo de los microorganismos en Agar Nutritivo inclinado y en placas de Petri, en caldo Nutritivo y en Gel Nutriente. La morfología colonial, es una característica indispensable a tener en cuenta en el aislamiento primario de una bacteria y, en la cual se debe considerar el borde y la elevación de la misma. Adicionalmente, es importante apreciar la consistencia y la textura de la masa celular, pues también son características distintivas. La consistencia va desde la colonia seca que, tocada con un asa se desplaza en la superficie del medio, hasta las colonias viscosas que se pegan al asa y se separan de la colonia formando un hilo (generalmente son bacterias con cápsulas gruesas). Así como, también la pigmentación de la colonia, las películas continuas de crecimiento (bacterias móviles), colonias lisas (generalmente virulentas), o colonias rugosas (generalmente avirulentas) (Rojas, 2011, p. 161). La presencia de estructuras de reproducción sexual es el principal criterio de clasificación que permite ubicar a los hongos en tres divisiones o phyla: *Zygomycota*, *Ascomycota* y *Basidiomycota*. Otros criterios importantes para la clasificación de los hongos son las características de las hifas y las estructuras de producción de esporas asexuales (Aquiahuatl et al., 2012: p. 20).

2.6.11. Medios de cultivo para microorganismos

Un medio de cultivo es una solución acuosa bien como tal o bien incorporada a un coloide en estado de gel, en las que están presentes todas las sustancias necesarias para el crecimiento de unos determinados microorganismos. Las propiedades fundamentales que deben presentar los medios de cultivo para el desarrollo ideal de microorganismos son: humedad, fertilidad, pH y transparencia. El medio de cultivo y las condiciones de incubación deben ser selectivos para el organismo que se desea aislar y contra selectivo para los organismos no deseados (Rojas, 2011, p.33). Debido a las diferencias en los requisitos nutricionales para los diferentes tipos de microorganismos en el suelo, es esencial utilizar diferentes tipos de medios de cultivo para el aislamiento y la numeración (Banks, 2016, p. 1).

El extracto de levaduras es el medio perfecto para la identificación y aislamiento de los diferentes géneros de hongos y levaduras sumado a los agares como el Potato Dextrosa Agar (PDA) y extractos con base de malta (Yadav, 2017, pp. 1-8). No obstante, Para Trabelsi y Mhamdi, (2013: pp. 1-12) el agar de Sabouraud es un medio no diferencial que protege el desarrollo de las levaduras de todo tipo de crecimiento bacteriano y con un pH inferior a 6.

2.6.12. Incidencia en la población microbiana de los Bioinsumos en plantaciones forestales

Los bioinsumos son productos derivados de organismos vivos o sus metabolitos que se utilizan como fertilizantes, promotores de crecimiento y controladores biológicos en la agricultura y la silvicultura. En el caso de las plantaciones forestales, los bioinsumos pueden tener un impacto significativo en la población microbiana del suelo y en la salud de las plantas. (Srivastava et al., 2018: p. 1-21).

Los bioinsumos pueden actuar de diferentes maneras sobre la población microbiana del suelo. Por ejemplo, algunos bioinsumos contienen microorganismos beneficiosos que colonizan las raíces de las plantas y promueven su crecimiento y salud. Estos microorganismos pueden competir con otros microbios que son patógenos para las plantas, lo que reduce la incidencia de enfermedades y mejora la resistencia de las plantas (Oviedo et al., 2017: pp. 31-42). Algunos bioinsumos contienen extractos vegetales que son ricos en compuestos orgánicos que actúan como nutrientes para los microorganismos del suelo. Esto puede mejorar la fertilidad del suelo y, por lo tanto, el crecimiento y desarrollo de las plantas (HDC, 2010, p.)

En general, los efectos de los bioinsumos sobre la población microbiana del suelo y el crecimiento de las plantas dependen del tipo de bioinsumo utilizado, las condiciones del suelo y el clima, y otros factores. Es importante destacar que los bioinsumos deben utilizarse de manera responsable y siguiendo las instrucciones del fabricante para maximizar sus efectos beneficiosos y minimizar los posibles efectos adversos.

Li, Chen y Wang (2015: p.1) estudió la "Influencia de la estructura de la comunidad microbiana inicial en el proceso de compostaje". Este estudio investigó la influencia de la estructura de la comunidad microbiana inicial en el proceso de compostaje, utilizando experimentos a escala de laboratorio y de campo. Los resultados mostraron que la estructura de la comunidad microbiana inicial tuvo un impacto significativo en la tasa y eficiencia del proceso de compostaje.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Caracterización del lugar

3.1.1. Localización

La zona de estudio se localiza en la provincia de Chimborazo, Cantón Colta, Parroquia Santiago de Quito, comunidad Ocpote San Luis. Superficie administrativa de la Corporación Sumak Tarpuy, localizada en las coordenadas UTM WGS84 X: 751354, Y: 9800701 a una altura de 3255 msnm. Las muestras de suelo fueron colectadas en los predios de la Corporación mencionada anteriormente en las delimitaciones de la plantación forestal de pino y eucalipto, y remanente de bosque.

3.1.2. Precipitación

En la parroquia Santiago de Quito hay dos estaciones definidas: un periodo donde las lluvias son abundantes comprendida entre los meses de enero a abril y el segundo período de menos precipitación durante los meses de junio a noviembre. El rango de precipitación va de 500 mm - 750 mm cubriendo 3.281,25 ha; y 750 mm – 1.000 mm que cubren 2.264,38 ha (PDOT, 2020, p. 13).

3.1.3. Temperatura

Los meses de febrero, marzo y abril son los que presentan el mayor valor de temperatura, mientras que los meses desde mayo hasta octubre son los que presentan valores ligeramente más bajos con respecto a la media anual. Las variaciones mensuales de las temperaturas no son significativas ya que su amplitud (diferencia entre los valores máximos y mínimos) está alrededor de 1°C. Las isotérmicas varían de 9°C - 12°C, depende de la temporada de invierno y verano, además de las alteraciones climáticas sequías, heladas, vientos huracanados, lluvias extremas (PDOT, 2020, p. 14).

3.1.4. Humedad

La humedad relativa existente en la zona es de 73% anual y es casi constante a lo largo de todo el año con variaciones entre el 65% y 75% (PDOT, 2020, p. 10).

3.1.5. *Relieve y suelos*

De acuerdo con el PDOT (2020, p. 8) de la Parroquia Santiago de Quito, cuenta con vertientes y relieves superiores e inferiores de las Cuencas Interandinas, las influencias climáticas son con vientos fuertes, heladas y sequías provenientes de la cordillera de los Andes y la Cordillera Central, esto ha dado lugar a la diversidad de relieves; en la parroquia Santiago de Quito se categoriza 7 tipos de pendientes como se describe en la tabla 1-3.

Tabla 1-3: Relieve de la Parroquia Santiago de Quito

N°	Rango	Relieve	(ha)	(%)
1	Cuerpo de Agua	Cuerpos de Agua	215.42	4.38
2	0 -5	Plano a casi plano	234.11	4.76
3	5 -12	Suave o Ligeramente ondulado	161.65	3.29
4	12 -25	Moderadamente ondulado	522,53	10,62
5	25 – 50	Colinado	1070,52	21,77
6	50 -70	Escarpado	1299.70	26.42
7	>70	Montañoso	1414.53	28.76
		Total	4918.48	100.00

Fuente: PDOT, 2020

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023.

3.1.6. *Materiales e equipos*

3.1.6.1. *Materiales de campo*

Libreta de apuntes, GPS, Barreno, pala, cámara fotográfica, fundas *ziploc*, alcohol (70%), agua destilada, balde de 5 L, azadas, guantes y vehículo de movilización.

3.1.6.2. *Materiales, insumos y equipos de laboratorio*

Placas Petri, puntas de micropipetas (1000 ul) (100 ul), probeta graduada (2000 ml), micropipeta (1000 ul) (100ul), pera de succión, pipeta, frasco de vidrio con tapa enroscable (500 ml) (250 ml), gradilla, cápsula de porcelana, bolígrafo, papel absorbente, fundas *ziploc*, cinta adhesiva, alcohol industrial, guantes, cámara de flujo laminar, autoclave, incubadora, balanza de presión, agitador, medios de cultivo GYM, Potato Dextrosa Agar (PDA), Agar AVENA. Agar Nutritivo.

3.6.1.3. Materiales y equipos de oficina

Computadora, impresora, hojas de registro, papel bond.

3.6.2. Metodología

3.6.2.1. Selección de las zonas de muestreo de suelo

La recolección de las muestras de suelo se realizó en las propiedades de la Corporación Sumak Tarpuy. El recorrido fue dirigido por el presidente de la organización con el fin de establecer los predios específicos de muestreo. Las localidades seleccionadas corresponden a una plantación forestal (Pino y Eucalipto) y bosque.

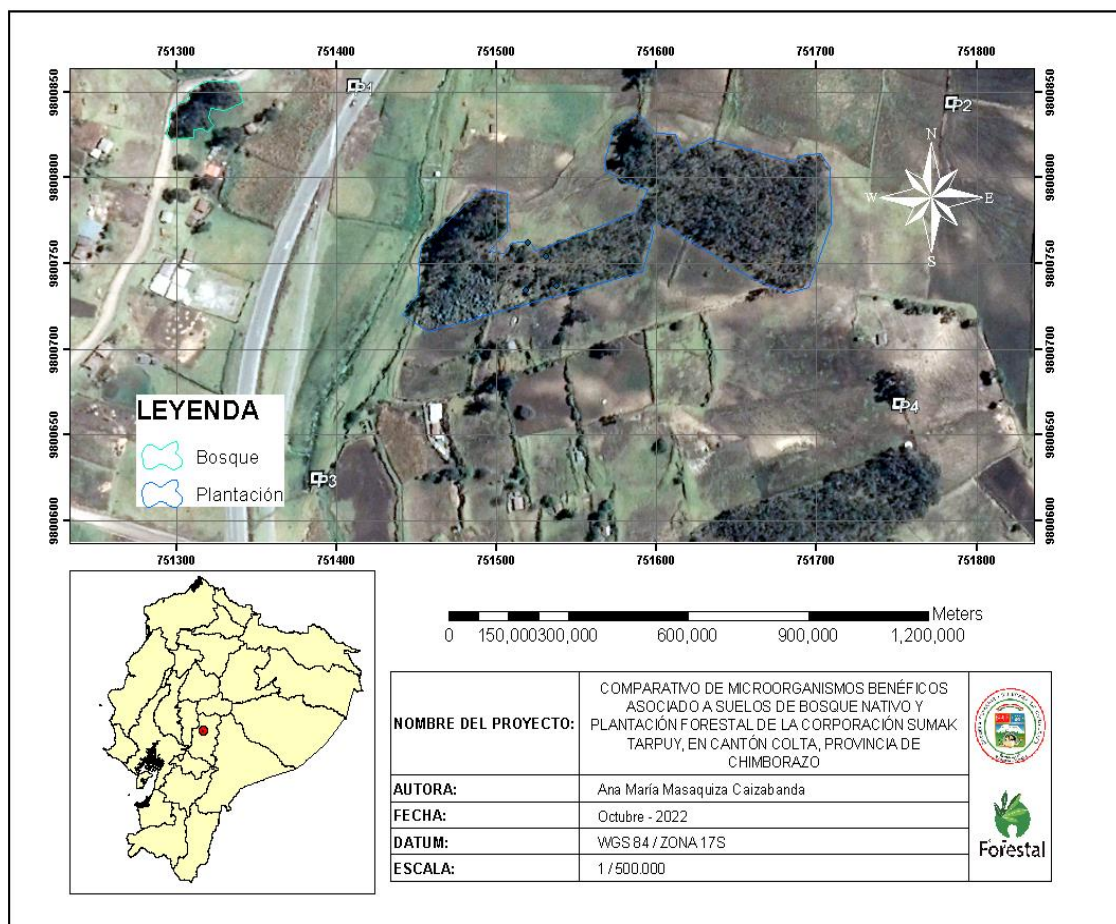


Ilustración 1-3: Sitio de recolección de muestras de suelo

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023.

3.6.2.2. Muestreo del suelo

Establecido las localidades de muestreo se tomó datos referentes a la longitud, latitud y altitud de cada uno de los sitios seleccionados. Posteriormente se realizó un croquis de la zona de estudio y se estableció un diseño de muestreo (Ilustración 2-3)

Para la recolección de submuestras se tomó en consideración el efecto borde y las recomendaciones del manual de microbiología agrícola de la Universidad de Córdoba (UNC, 2015: p. 4) que sugiere extraer 15 a 20 submuestras por hectárea y por sitio de muestreo debido a la variación espacial (horizontal y vertical) que presenta normalmente los sitios.

Las muestras de suelo se obtuvieron de 20 cm de profundidad debido a que en esa zona se localiza la mayor abundancia y actividad microbiana y es lo más recomendable para estudios microbiológicos (UNC, 2015: p. 3)

Diseño de muestreo

Aunque existen muchos tipos de diseños de muestreo solo dos tipos principales (aleatorio y sistemático) se usan comúnmente en las ciencias del suelo y de la tierra (Carter y Gregorich, 2007: p. 29). En este estudio se empleó el diseño de muestreo estratificado aleatorio o al azar, los detalles de la estratificación se muestran la tabla 2-3. Este método consiste en asignar puntos a grupos o estratos predefinidos y se elige una muestra aleatoria simple de cada estrato. En el muestreo aleatorio, las muestras individuales se recolectan de lugares que se distribuyen aleatoriamente en la porción representativa del campo. Estas ubicaciones aleatorias se generaron con un GPS. Utilizando un patrón de muestreo en zigzag (Ilustración 2-3) (Carter y Gregorich, 2007: p. 29).

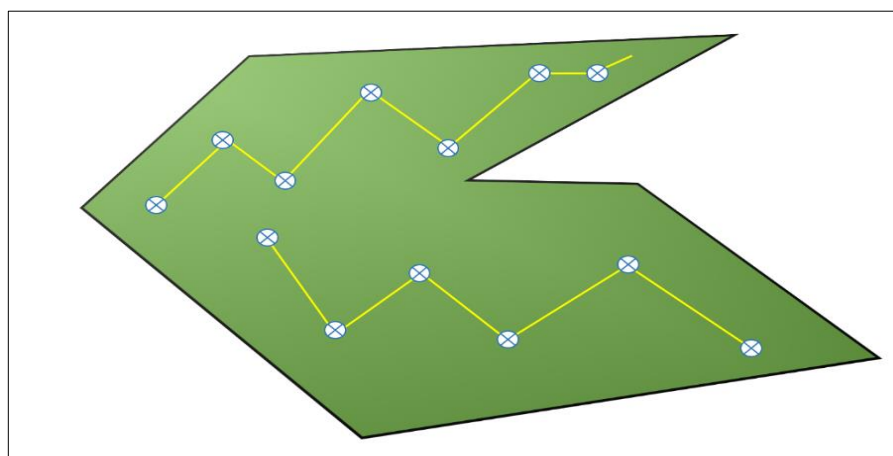


Ilustración 2-3: Esquema de toma de submuestra en Zig-Zag

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023

Tabla 2-3: Coordenadas de sitios para el muestreo del suelo

Tipo	Lote	Coordenadas	
		X	Y
Bosque	B1	751506	9800706
	B2	751530	9800703
	B3	751612	9800791
Plantación	P1	751488	9800697
Forestal	P2	751559	9800711
	P3	751658	9800745

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023.

Para determinar el número de submuestras de suelo a recolectar se tomó en consideración como base la cantidad mínima sugerida por los laboratorios de análisis de suelos que es de 15 a 20 submuestras para cada campo o subsección de un campo, independientemente del área real involucrada (Carter y Gregorich, 2007: p. 29). El cálculo realizado es a partir de una regla de 3 simple:

N° submuestras en plantación

$$N^{\circ} \text{ de submuestras en plantación} = \frac{\text{Área} \times N^{\circ} \text{ de submuestras}}{1 \text{ ha}}$$

$$N^{\circ} \text{ de submuestras en plantación} = \frac{1,488 \text{ ha} \times 15 \text{ submuestras}}{1 \text{ ha}} = \mathbf{22,32}$$

N° submuestras en bosque

$$N^{\circ} \text{ submuestras en bosque} = \frac{\text{Área} \times N^{\circ} \text{ submuestras}}{1 \text{ ha}}$$

$$N^{\circ} \text{ submuestras en bosque} = \frac{0,0896 \text{ ha} \times 15 \text{ submuestras}}{1 \text{ ha}} = \mathbf{1,344}$$

A continuación, se describe de manera secuencial, el procedimiento empleado para la toma de submuestras:

- Desinfección de las herramientas de muestreo (Barreno, pala metálica, balde) con Hipoclorito de sodio al 5% y agua estéril.
- Utilizando la pala metálica, se retiró la cobertura vegetal del suelo del punto de muestreo.

- Se obtuvo las submuestras introduciendo el barreno de manera vertical en el suelo hasta una profundidad de 20 cm. Punto de mayor actividad microbiana (FCA, 2015, p. 3).
- Las submuestras se introdujeron en un balde de 5L y se mezcló para obtener una muestra compuesta tanto de plantación y del remanente de bosque.
- La muestra compuesta (plantación y bosque) se almacenó en una funda *ziploc* equivalente a un 1Kg, previamente etiquetados con la información de campo.
- Finalmente, las muestras fueron almacenadas en un *cooler* a una temperatura aproximada de 8 °C; por consiguiente, fueron transportadas al laboratorio hasta su procesamiento.

3.6.2.3. Aislamiento y cultivo de microorganismos en el laboratorio

Determinación de % de humedad y pH de las muestras el suelo

Para determinar la humedad y el pH se procedió a pesar 5 gr de suelo, donde luego se colocó la cápsula de porcelana en la estufa a 65°C, durante 1 hora.

Método dilución en serie para el aislamiento de microorganismos

Una vez tomada las muestras, los análisis se realizaron en el laboratorio de ciencias biológicas de la Facultad de Recursos Naturales - ESPOCH. La metodología aplicada para el aislamiento de los microorganismos fue la dilución en serie y difusión en placas, también conocida como método de dilución serial (Blaize et al., 2022: p. 4).

Aislamiento de hongos

Para el aislamiento de los hongos se prepararon diluciones seriadas. De cada una de las muestras compuestas, se tomó 10 g de suelo que fueron colocados en un blanco de dilución de 90 mL, las muestras fueron agitadas a 2000 rpm por minuto durante 1 hora, a partir de ésta, se prepararon las diluciones hasta 10^{-7} . Todas las diluciones fueron inoculadas en cajas Petri que contenían Potato Dextrosa Agar (PDA), Agar Nutriente (NA), Agar avena (ANV) y Agar glucosa extracto de levadura (GYM). Tomando 100 µL, y por el método de difusión en placa el inóculo fue extendido sobre los medios de cultivo con ayuda de un rastrillo bacteriológico en vidrio (Tortora et al., 2007: pp. 386-418).

Incubación en placas

Las placas inoculadas fueron incubadas a 25 °C hasta observar el crecimiento de colonias microbianas. Se estandarizó esta temperatura debido a que el rango de temperatura de los sitios de muestreo está entre 11° C y 26°C.

Obtención de cultivos puros de hongos y actinobacterias

Todas las cajas Petri que presentaron crecimiento visible y con variedad de colonias de bacterias, hongos y actinomicetos fueron seleccionadas para proceder con el aislamiento y purificación de los microorganismos para luego realizar la identificación de estas. Con la ayuda de un palillo estéril se tomó parte de una colonia o micelio con esporas, para inocular en cajas Petri que contenían PDA mediante el método en estrías simples, para las bacterias (Sanders, 2012, pp. 1-18). Todas las cajas Petri sembrados fueron incubados a 28°C. Todos los cultivos contaminados fueron repicados hasta obtener cultivo puro.

Unidades formadoras de colonias

Luego del proceso de incubación se realizó el conteo de las colonias y se determinó el número de unidades formadoras de colonias por gramo de suelo (ufc/g), para esto se seleccionaron cajas Petri que contenían colonias con mejor desarrollo de los microorganismos fúngicos.

Almacenamiento y conservación

Los cultivos puros de hongos y actinomicetos fueron almacenados y para su conservación a largo plazo se realizó la transferencia de material de cada colonia hacia un criovial que contenía 1 mL de glicerol al 20% (v/v). Los tubos preparados fueron almacenados en un congelador a -20°C.

Descripción de la morfología de colonias y observación microscópica

La comparación de descripciones de colonias fúngicas y de actinobacterias se realizó mediante el registro de características de la colonia en cultivo puro, así como de la observación bajo el microscopio de las estructuras del micelio, estructuras reproductivas y/o esporas para homologar y establecer la familia y/o el género al que pertenece los cultivos obtenidos

Selección de hongos con potencial de control biológico de plagas y enfermedades

Una vez realizada la identificación de los hongos benéficos de manera general. Se realizó una búsqueda de la literatura científica para identificar a aquellos hongos con potencial de control biológico de enfermedades y plagas

3.6.2.4. Análisis estadístico

Se realizó un análisis monofactorial de la población de microorganismos. El análisis estadístico se realizó en el software InfoStat, utilizando un DCA con 6 tratamientos y tres repeticiones, Se realizó un ANOVA y prueba de Tukey.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. La población fúngica de las muestras de suelo

4.1.1. Identificación de la población microbiana

Tabla 1-4: Frecuencia Absoluta y Relativa de la población microbiana del Bosque y Plantación de la Corporación Sumak Tarpuy

Clase	Categoría	Bosque		Plantación	
		FA	FR	FA	FR
1	<i>Actinobacterias spp.</i>	1	0.03	0	0.00
2	<i>Actinomicetos spp.</i>	2	0.05	0	0.00
3	<i>Alternaria spp.</i>	1	0.03	0	0.00
4	<i>Aspergillus spp. Con semejanza a genero Aspergillus flavus.</i>	0	0.00	1	0.04
5	<i>Aspergillus spp. Con semejanza a genero Aspergillus niger.</i>	0	0.00	1	0.04
6	<i>Aspergillus con semejanza a genero Aspergillus piperis.</i>	0	0.00	4	0.17
7	<i>Aspergillus spp.</i>	5	0.13	4	0.17
8	<i>Botryosphaeria spp.</i>	1	0.03	0	0.00
9	<i>Candida spp.</i>	3	0.08	0	0.00
10	<i>Cladosporium spp. Con semejanza a genero Cladosporium herbarum.</i>	1	0.03	0	0.00
11	<i>Cladosporium spp.</i>	2	0.05	0	0.00
12	<i>Colletotrichum spp.</i>	4	0.10	0	0.00
13	<i>Colonia de bacterias</i>	1	0.03	1	0.04
14	<i>Curvularia spp. Con semejanza a genero Curvularia aérea.</i>	0	0.00	2	0.09
15	<i>Fusarium spp. Con semejanza al género Fusarium solani.</i>	1	0.03	0	0.00
16	<i>Fusarium spp.</i>	3	0.08	1	0.04
17	<i>Lasiodiplodia spp.</i>	4	0.10	2	0.09
18	<i>Levadura</i>	4	0.10	2	0.09
19	<i>Metarhizium spp.</i>	1	0.03	0	0.00
20	<i>Penicillium albocoremium.</i>	1	0.03	0	0.00
21	<i>Penicillium spp.</i>	2	0.05	3	0.13
22	<i>Rizhopus spp.</i>	0	0.00	1	0.04
23	<i>Sporobolomyces spp.</i>	0	0.00	1	0.04
24	<i>Streptomyces spp.</i>	0	0.00	1	0.04
25	<i>Trichoderma harzianum.</i>	1	0.03	0	0.00
26	<i>Trichoderma koningiopsis</i>	1	0.03	0	0.00
27	<i>Trichoderma spp.</i>	1	0.03	0	0.00

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023

FA: Frecuencia absoluta (nos permite determinar el número de colonias por las categorías identificadas (microorganismo)).

FR: Frecuencia relativa (es la proporción en porcentaje del número de colonias por categoría).

En la tabla 1-4 se detalla la población fúngica observada tanto en las muestras de suelo de bosque y plantación forestal de la Corporación Sumak Tarpuy. Un total de 64 cultivos almacenados para preservación, de los cuales un total de 25 cultivos de hongos son catalogados como benéficos. Se pueden observar algunas tendencias. Por ejemplo, se puede analizar que algunas especies que se encuentran únicamente en la plantación, mientras que otras están presentes tanto en el bosque como en la plantación. Además, existen algunas especies que tienen una presencia notablemente mayor en la plantación que en el bosque y viceversa.

Dentro de la presencia de la población fúngica, también se encontró colonias de *Actinobacterias spp.* y *Actinomicetos spp.* con respecto a los sitios analizados en el estudio. En su mayoría las bacterias que se encontró en este estudio fueron del tipo gram negativas, consecuentemente se descartó del presente análisis debido a que son fitopatógenas y se centró en hongos. En general, la tabulación de datos permite determinar que la población microbiana del bosque y la plantación es diversa y está compuesta por múltiples especies de hongos.

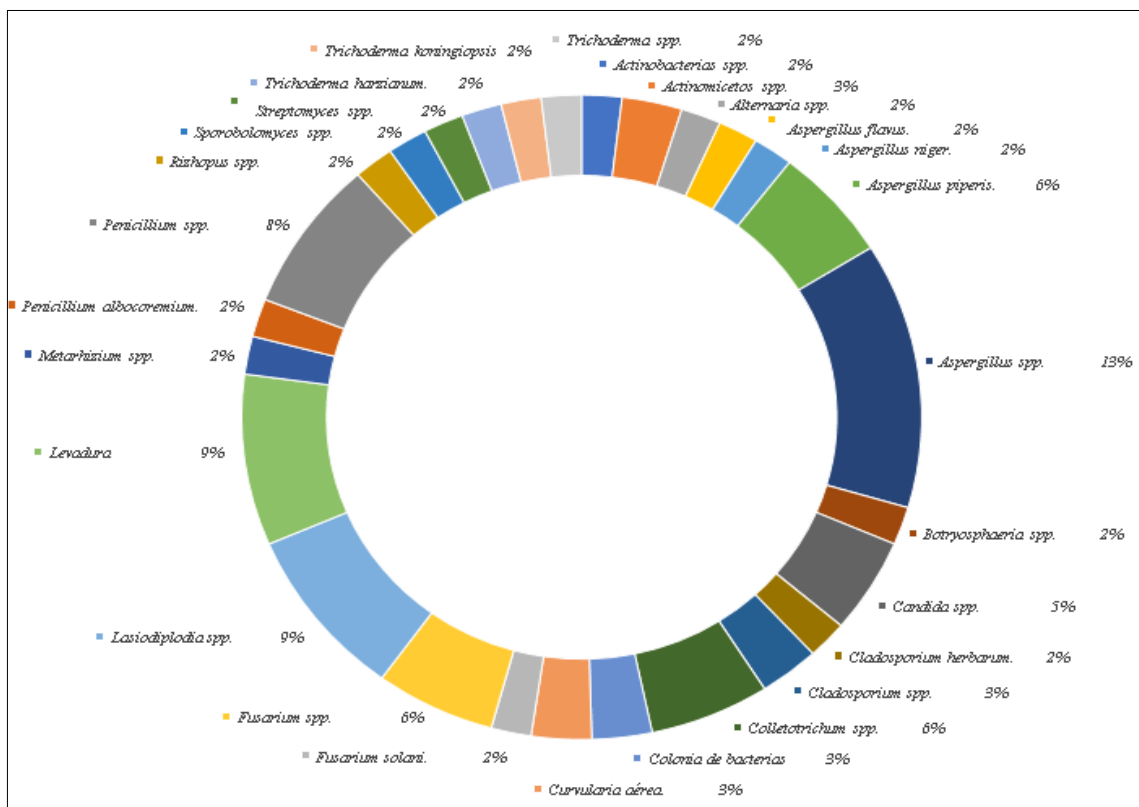


Ilustración 1-4: Frecuencia Relativa de la población microbiana del Bosque y Plantación de la Corporación Sumak Kawsay.

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023

La frecuencia relativa (FR) se expresa en porcentaje y representa la proporción de individuos de una categoría específica en relación con el total de individuos de la muestra. Como se registra en la ilustración 1-4 que muestra que el bosque es el hábitat con mayor población fúngica (promedio de 0.05) frente a la plantación que es mucho menor (0.02), que de acuerdo con la FR corresponden a 5% y 2% respectivamente

Entre los hongos que se encuentran exclusivamente en el Bosque son los siguientes como los *Alternaria spp.*, *Botryosphaeria spp.*, *Candida spp.*, *Cladosporium herbarum*, *Colletotrichum spp.*, *Fusarium solani*, *Metarhizium spp.*, *Penicillium albocoremium.*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma koningiopsis* y *Trichoderma spp.* Por otro lado, en la Plantación se encuentran hongos como *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus piperis*, *Curvularia aérea.*, *Rizhopus spp.*, *Sporobolomyces spp.*, *Streptomyces spp.*

En el bosque, las especies más abundantes son *Aspergillus spp.* representa el 13% de la población microbiana, *Cladosporium spp.* el 5%. *Alternaria spp.*, *Botryosphaeria spp.*, *Cladosporium herbarum*, *Fusarium solani*, *Metarhizium spp.*, *Penicillium albocoremium*, *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma koningiopsis* representan cada uno el 3% de la población. *Sporobolomyces spp.* y *Streptomyces spp.* no son muy abundantes, cada uno representando el 0% de la población.

En el caso de la plantación, las especies más abundantes son *Aspergillus piperis* y *Aspergillus spp.* cada uno representando el 17% de la población microbiana. *Levadura* y *Lasiodiplodia spp.* representan el 9% cada uno. *Aspergillus flavus* y *Aspergillus niger* representan cada uno el 4% de la población, mientras que *Curvularia aérea*, *Penicillium spp.*, *Rizhopus spp.* y *Trichoderma spp.* representan cada uno el 0% de la población microbiana. *Candida spp.* no se observa en la plantación.

Cabe mencionar que además de la población fúngica, se observó colonias de *Actinobacterias spp.* y *Actinomicetos spp.*, La colonia de *Actinobacterias spp.* tiene una frecuencia relativa en el bosque de 0.03 y en la plantación es del 0.00, lo que indica que la colonia de bacterias representa el 3% de la población microbiana en el bosque y el 0% en la plantación. De manera similar las *Actinomicetos spp.*, representó el 0.05 (FR) en el bosque y 0.00 en la plantación.

En general, la población fúngica del bosque y la plantación de la Corporación Sumak Tarpuy es diversa, con diferentes especies y géneros de hongos presentes en cada área. La FR de la población fúngica en la plantación es significativamente menor que en el bosque, lo que sugiere que la plantación tiene una población fúngica menos diversa.

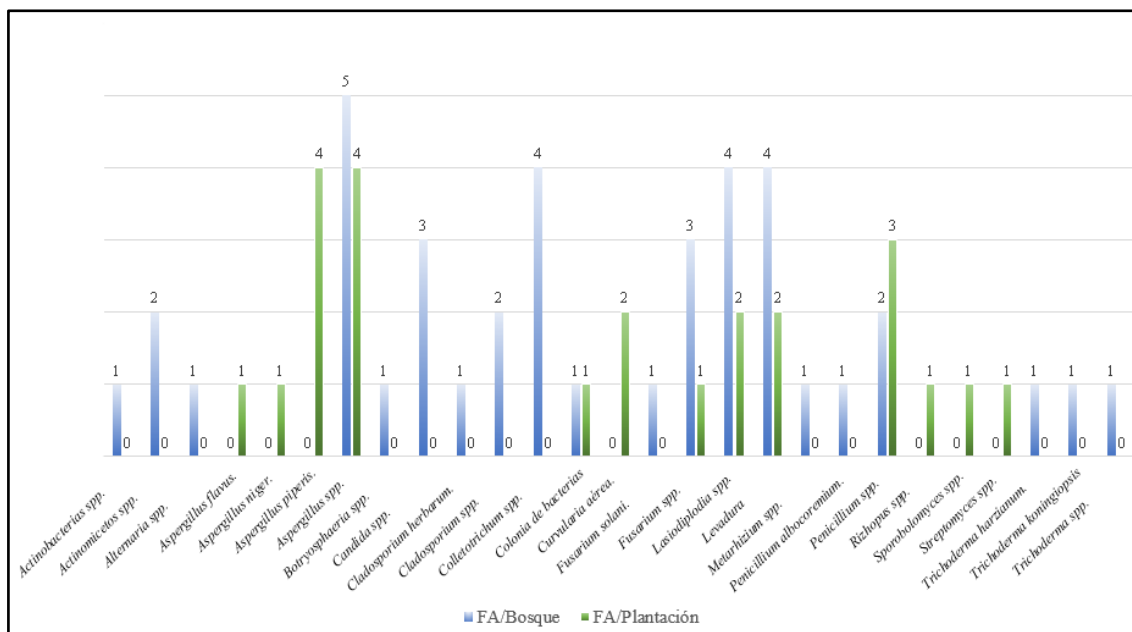


Ilustración 2-4: Frecuencia Absoluta de la población microbiana del Bosque y Plantación de la Corporación Sumak Tarpuy.

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023.

La frecuencia absoluta (FA) es el número de veces que una categoría aparece en un conjunto de datos. En este caso, la Ilustración 2-4 muestra la frecuencia absoluta de la población fúngica del bosque y plantación de la Corporación Sumak Tarpuy.

En el bosque, se encontraron un total de 18 categorías de hongos. Las categorías más comunes fueron *Aspergillus spp.* (FA=5), seguido de *Colletotrichum spp.* (FA=4), *Lasiodiplodia spp.* (FA=4) y levaduras (FA=4). Por otro lado, en la plantación se encontraron un total de 12 categorías de hongos. Las categorías más comunes fueron *Aspergillus piperis* (FA=4), *Aspergillus spp.* (FA=4), *Penicillium spp.* (FA=3) y levaduras (FA=2).

A parte de la población fúngica Según la tabla 1-4, se encontró colonias de *Actinobacterias spp.* La colonia de *Actinobacterias spp.* se observó una vez en el bosque y ninguna en la plantación, lo que representa una frecuencia absoluta de 1 para bosque y 0 para plantación. Mientras que a los *Actinomicetos spp.* se observó dos veces en el bosque y nada en la plantación, lo que representa una frecuencia absoluta de 2 para bosque y 0 para la plantación.

Aparentemente la frecuencia absoluta de la población fúngica varía significativamente entre el bosque y la plantación, lo que sugiere que las condiciones ambientales pueden influir en la composición de la población fúngica en diferentes áreas

4.2. Hongos con características de controladores biológicos

El control biológico de enfermedades y plagas es una estrategia prometedora para reducir el uso de pesticidas químicos en la agricultura y minimizar los efectos negativos en el medio ambiente y la salud humana. En este contexto, la separación de hongos con propiedades antifúngicas y antiparasitarias puede ser una alternativa efectiva para el control de plagas y enfermedades en cultivos. En este estudio, se evaluó la existencia de hongos en muestras de suelo de bosque y plantación forestal con potencial para controlar enfermedades y plagas.

Dentro de los aislamientos obtenidos los géneros como *Trichoderma*, y *Metarhizium*, son considerados controladores biológicos debido a su capacidad en el control de enfermedades y plagas los mismo que fueron aislados de las muestras de suelo de bosque y plantación forestal como se muestra en la ilustración 3-5 y 4-5. A continuación, se detalla algunos estudios que avalan esta información.

El género *Metarhizium* incluye hongos entomopatógenos que son efectivos en el control de insectos plaga. Estos hongos pueden infectar a través del contacto directo con el insecto, la ingestión de esporas o la penetración en el cuerpo del insecto. Varios estudios han demostrado la efectividad de *Metarhizium spp.* en el control de plagas como el gusano cogollero del maíz, la mosca blanca, la polilla del tomate, la langosta del desierto y la mosca mediterránea de la fruta. Además, estos hongos han sido utilizados con éxito en la protección de cultivos contra enfermedades causadas por nematodos y hongos patógenos del suelo.

Se ha observado que el género *Metarhizium spp.*, contribuye en el aumento de la mortalidad de las plagas en cultivos y reducción en la supervivencia de las larvas (Mantzoukas y Eliopoulos, 2020: p.), También se ha observado un excelente control de insectos en cultivos de caña de azúcar (Bautista, 2005: pp. 37-40).

Trichoderma harzianum es un hongo antagonista que es conocido por su capacidad de colonizar las raíces de las plantas y promover el crecimiento vegetal. También es utilizado en el control biológico de enfermedades de las plantas causadas por hongos patógenos del suelo, como *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum* y *Sclerotinia sclerotiorum*. Se ha demostrado que *T. harzianum* produce metabolitos antifúngicos y enzimas hidrolíticas que descomponen la pared celular de los patógenos.

En un estudio realizado en el cultivo de frijol, se demostró la efectividad de *Trichoderma spp.* en el control de hongos patógenos de la semilla y el suelo (González, 2005, pp. 37-41). En otro

estudio, se evaluó la eficacia de *Trichoderma harzianum* en el control de la mancha parda del arroz y se encontró que fue eficaz en diferentes concentraciones (Pérez et al., 2018: pp. 17-26).

Además, se ha demostrado que *Trichoderma harzianum* puede ser eficaz en el control de diversas enfermedades en diferentes cultivos, como el tomate, la lechuga, la col y la soja, entre otros (Hernández et al., 2019: pp. 98-112).

Trichoderma koningiopsis es otro hongo antagonista que se ha utilizado en el control biológico de enfermedades de las plantas. Este hongo es efectivo contra patógenos como *Fusarium oxysporum*, *Phytophthora capsici* y *Botrytis cinerea*. Además, se ha demostrado que *Trichoderma koningiopsis* puede inducir la resistencia sistémica adquirida en las plantas, lo que aumenta su capacidad para defenderse contra los patógenos.

Un estudio encontró que *Trichoderma koningiopsis* PSU3-2 tiene mecanismos de biocontrol contra la antracnosis postcosecha del pimiento. El estudio también destacó la capacidad de *T. koningiopsis* para producir metabolitos secundarios que inhiben el crecimiento de hongos patógenos (Ruangwong et al., 2021: pp. 1-10).

Otro estudio evaluó la capacidad de varias cepas de *Trichoderma*, incluyendo *Trichoderma koningiopsis*, para controlar patógenos que afectan los cítricos. Los resultados mostraron que varias cepas de *Trichoderma* fueron efectivas para controlar patógenos en las raíces y el suelo que causan enfermedades en los cítricos. *Trichoderma koningiopsis* fue una de las cepas identificadas como efectivas (Ferreira et al., 2020: pp. 712-727).

En general, como se puede apreciar la literatura científica menciona que los hongos de los géneros *Metarhizium spp.*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma koningiopsis* y *Trichoderma spp.* son prometedores para el control biológico de plagas y enfermedades de las plantas. Su eficacia ha sido demostrada en numerosos estudios y su uso puede reducir la necesidad de pesticida.

4.2.1. Población Fúngica benéfica presente en el suelo de bosque

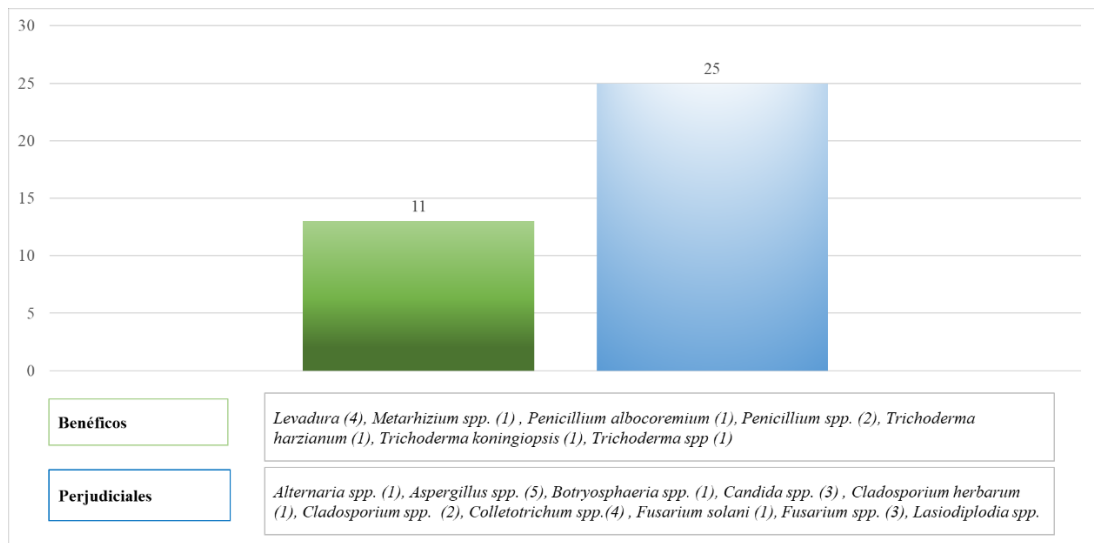


Ilustración 3-4: Número de hongos beneficiosos y perjudiciales presentes en el suelo del bosque.

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023.

En total se identificaron 7 especies de hongos beneficiosos y 10 especies de hongos perjudiciales. Entre los beneficiosos, se encontró las especies *Levadura*, *Metarhizium spp.*, *Penicillium albocoremium*, *Penicillium spp.*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma koningiopsis*, *Trichoderma spp.*

Entre los hongos perjudiciales, se encontró especies como: *Alternaria spp.*, *Aspergillus spp.*, *Botryosphaeria spp.*, *Candida spp.*, *Cladosporium herbarum*, *Cladosporium spp.*, *Colletotrichum spp.*, *Fusarium solani*, *Fusarium spp.*, *Lasioidiplodia spp.*

En general, se puede decir que el número de hongos perjudiciales es significativamente mayor que el número de hongos beneficiosos. Además, hay varias especies de hongos perjudiciales que se presentan en cantidades significativas, lo que podría tener un impacto negativo en la salud y la supervivencia del bosque.

4.2.2. Población fúngica benéfica presente en suelo de plantación forestal

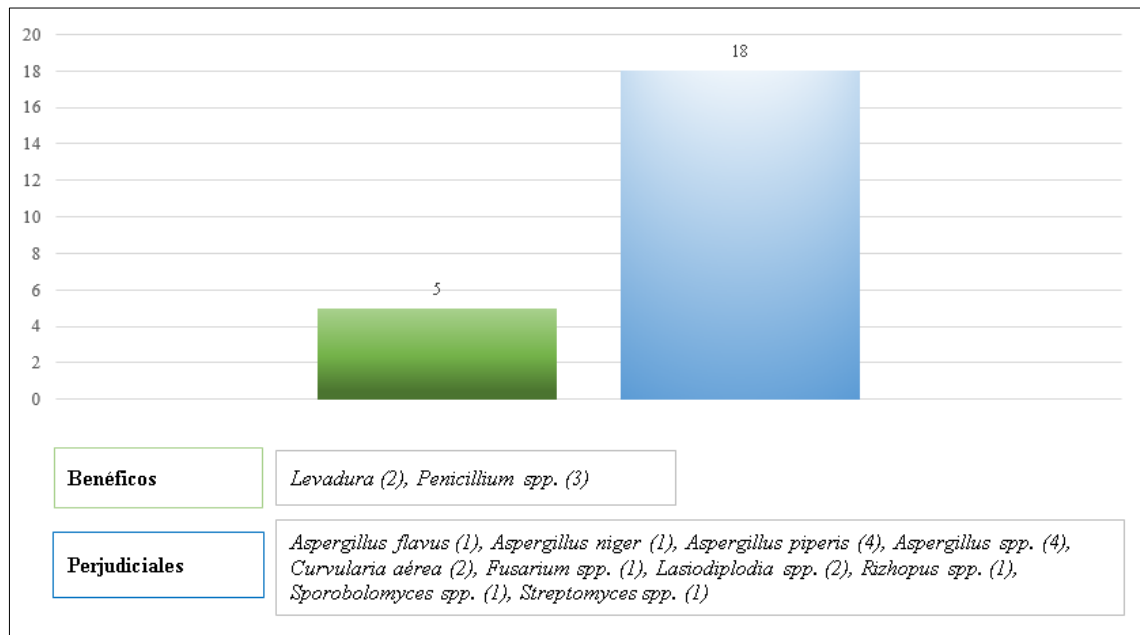


Ilustración 4-4: Número de hongos beneficiosos y perjudiciales encontrados en una muestra de suelo de plantación forestal.

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023.

En la ilustración 4-4, se muestra la población fúngica, tanto perjudicial y benéfica encontrada en suelo de plantación forestal. Se identifican un total de 23 categorías de hongos diferentes, de los cuales 5 son beneficiosos y 18 son perjudiciales. Entre los hongos beneficiosos encontrados, se identifican dos géneros: *Levadura* y *Penicillium spp.* Por otro lado, se identificó también los denominados hongos perjudiciales como: *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus piperis*, *Aspergillus spp.*, *Curvularia aérea*, *Fusarium spp.*, *Lasiodiplodia spp.*, *Rizhopus spp.*, *Sporobolomyces spp.*, *Streptomyces spp.*

En resumen, la presencia de una diversidad de hongos beneficiosos y perjudiciales en la muestra de suelo indica que la plantación forestal tiene una comunidad microbiana rica y compleja, que puede tener implicaciones tanto positivas como negativas para la salud de las plantas.

4.2.3. Análisis estadístico de la población de microorganismos

La Tabla 2-4 presenta los resultados de un análisis comparativo de la cantidad de colonias de microorganismos encontrados en las muestras de suelo de bosque y plantación forestal en unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo en diferentes medios de cultivo, tras realizar el ANOVA y sus respectivas pruebas de Tukey (ANEXO H, Y y J). Los tratamientos se dividen

en dos grupos: B (bosque) y P (plantación forestal). Para cada tratamiento, se midieron los niveles de tres tipos de microorganismos en su respectivo medio de cultivo: AN/Bac (bacterias), PDA/Hongos (hongos) y GYM/actibac (actinobacterias).

Tabla 2-4: Resumen y análisis comparativo de la cantidad de microorganismos de bosque plantación forestal en UFC/g en diferentes medios de cultivo.

Microorganismos	Tratamientos						Prob.
	B1	B2	B3	P1	P2	P3	
AN/Bac (UFC/g)	813.63 D	42900.60 A	595.12 E	2889.69 C	2889.75 B	82.66 F	0.0001
PDA/Hongos (UFC/g)	741.66 C	4287.82 A	415.19 D	1292.36 B	318.56 E	83.07 F	0.0001
GYM/actibac (UFC/g)	5.74 F	410.49 C	428.25 A	410.57 B	20.81 E	59.16 D	0.0001

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023

UFC: Unidades Formadoras de Colonias por gramo

A continuación, se presenta los resultados desglosados de los ANOVA para cada tipo de microorganismo y su respectivo medio de cultivo:

Tabla 3-4: Análisis de Varianza para número de colonia de bacterias en AN/Bac (UFC/g)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.41E+19	5	2.81E+18	1.6343E+16	<0,0001
Tratamientos	1.41E+19	5	2.81E+18	1.6343E+16	<0,0001
Error	4127.34	24	171.97		
Total	1.41E+19	29			

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023.

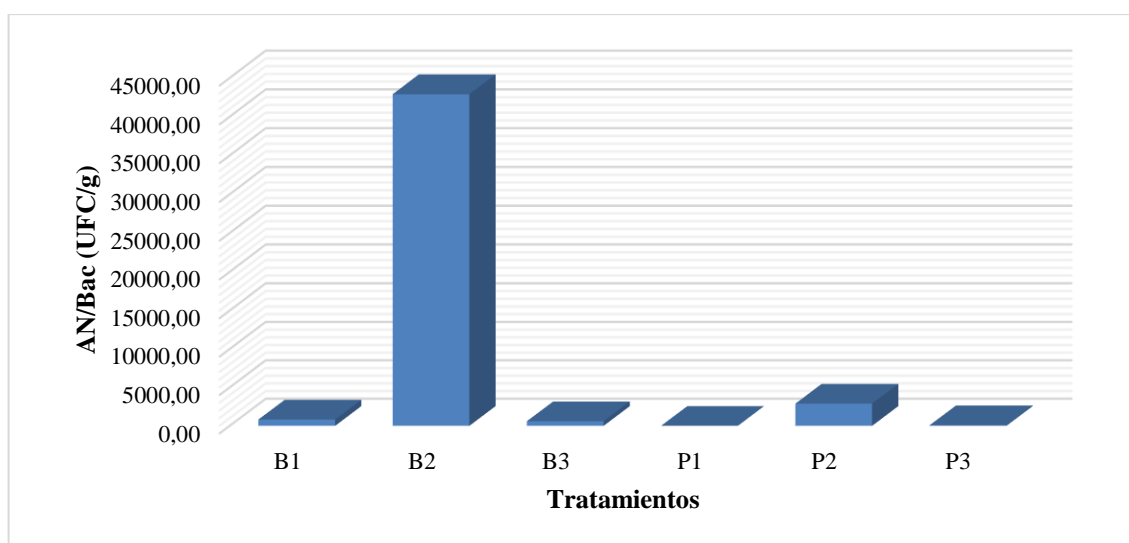


Ilustración 5-4: Colonia de bacterias en el medio AN (UFC/g)

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023.

El análisis de la cantidad de colonias de bacterias encontradas en los suelos de bosque B y plantación forestal P indica una gran variabilidad entre las muestras. El coeficiente de variación (CV) obtenido es bajo, lo que indica que los datos tienen una buena precisión y reproducibilidad (ANEXO H). La tabla de análisis de la varianza (ANOVA) muestra que tanto el modelo como los tratamientos tienen un efecto significativo en la cantidad de colonias de bacterias. El p-valor obtenido es muy bajo ($<0,0001$), lo que indica una alta significancia estadística (Tabla 3-4).

El test de Tukey (ANEXO H) muestra que las medias de colonias de bacterias encontradas en los diferentes tratamientos son significativamente diferentes entre sí. La mayor cantidad de colonias de bacterias se encontró en el suelo de bosque B2, seguida de los suelos de plantación forestal P1 y P2. Las muestras de suelo de bosque B1 y B3 presentaron una cantidad menor de colonias de bacterias en comparación con el suelo de bosque B2, mientras que la muestra de suelo de plantación forestal P3 presentó la menor cantidad de colonias de bacterias. Resultados que se aprecian mejor en la Ilustración 5-4.

Tabla 4-4: Análisis de la Varianza para número de colonias de hongos en PDA (UFC/g)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	61964928.3	5	12392985.7	6.23163E+15	$<0,0001$
Tratamientos	61964928.3	5	12392985.7	6.23163E+15	$<0,0001$
Error	4.80E-08	24	2.00E-09		
Total	61964928.3	29			

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023

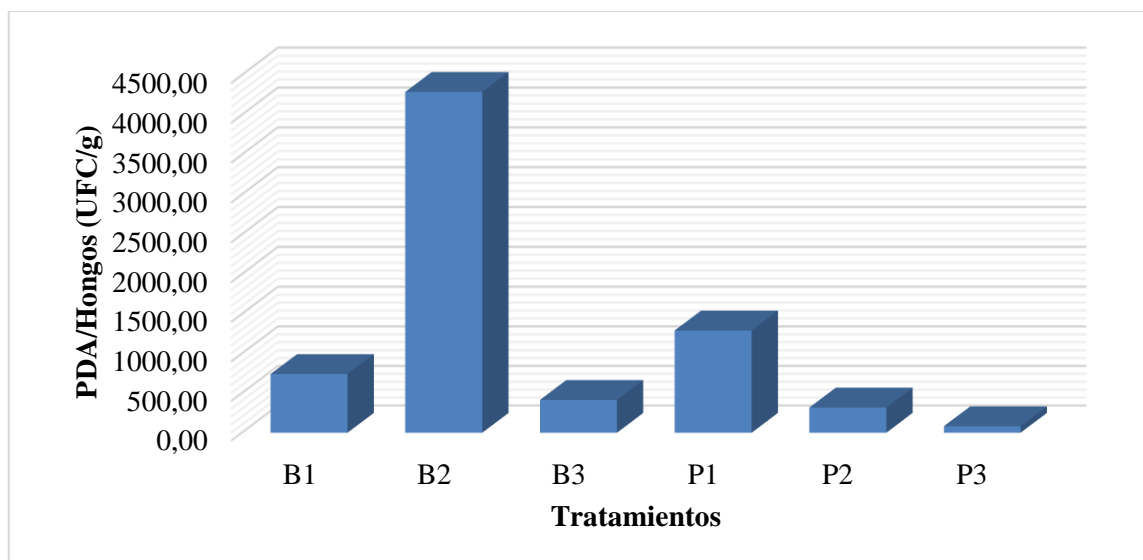


Ilustración 6-4: Colonia de hongos en el medio PDA (UFC/g)

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023.

Se puede observar una gran variabilidad entre las muestras de suelo de bosque B y plantación forestal P en cuanto a la cantidad de colonias de hongos encontradas. A pesar de esto, se obtuvo un coeficiente de variación (CV) muy bajo, lo que sugiere una buena precisión y reproducibilidad de los datos (ANEXO I). El análisis de varianza (ANOVA) indica que tanto el modelo como los tratamientos tienen un efecto significativo en la cantidad de colonias de hongos, con un p-valor muy bajo ($<0,0001$), lo que confirma la alta significancia estadística (Tabla 4-4).

Según el test de Tukey (ANEXO I), las medias de colonias de hongos encontradas en los diferentes tratamientos presentan diferencias significativas entre sí. La mayor cantidad de colonias de hongos se encontró en el suelo de bosque B2, seguida del suelo de plantación forestal P1. Por otro lado, las muestras de suelo de bosque B1, B3, y de plantación forestal P2 y P3 presentaron una cantidad menor de colonias de hongos. Resultados que se aprecian mejor en la Ilustración 6-4.

Tabla 5-4: Análisis de Varianza para número de colonias de actinobacterias en GYM/ Actibac (UFC/g)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1136928.93	5	227385.79	8.81347E+15	$<0,0001$
Tratamientos	1136928.93	5	227385.79	8.81347E+15	$<0,0001$
Error	6.20E-10	24	2.60E-11		
Total	1136928.93	29			

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023.

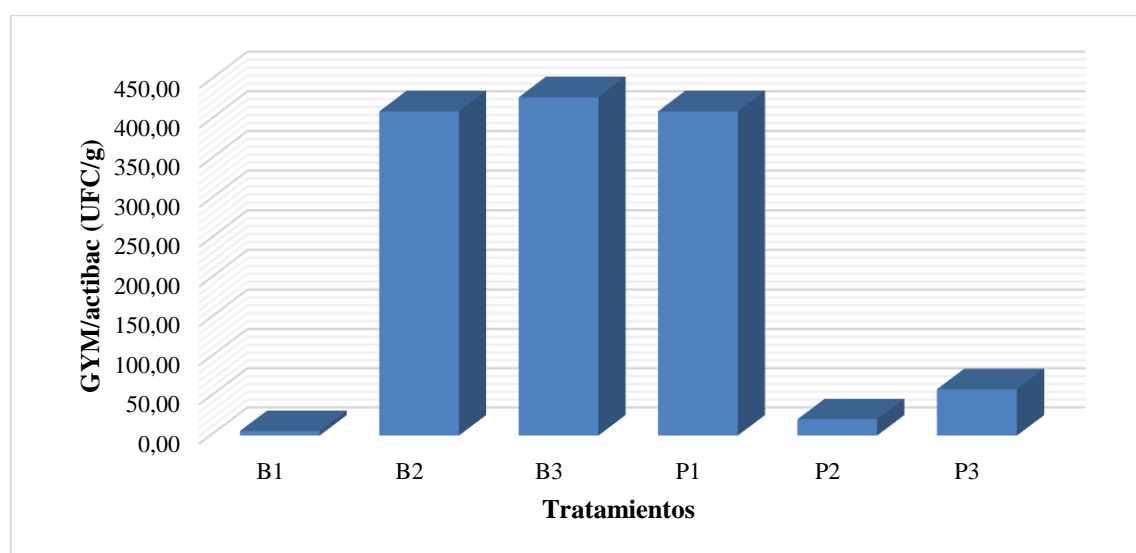


Ilustración 7-4: Colonia de actinobacterias en el medio GYM (UFC/g)

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023.

Se encontró una amplia variabilidad entre las muestras al analizar la cantidad de colonias de bacterias en los suelos de bosque B y plantación forestal P. El coeficiente de variación (CV) obtenido fue muy bajo, lo que indica que los datos son precisos y reproducibles (ANEXO J).

La tabla de análisis de varianza (ANOVA) indica que tanto el modelo como los tratamientos tienen un efecto significativo en la cantidad de colonias de actinobacterias encontradas. El p-valor obtenido es muy bajo ($<0,0001$), lo que sugiere una alta significancia estadística (Tabla 5-4).

Según el test de Tukey (ANEXO J), las medias de colonias de actinobacterias encontradas en los diferentes tratamientos son significativamente diferentes entre sí. El suelo de bosque B3 tuvo la mayor cantidad de colonias de bacterias, seguido por los suelos de plantación forestal P1 y B2. Las muestras de suelo de plantación forestal P3 y P2, y de bosque B1, tuvieron una cantidad menor de colonias de actinobacterias. Resultados que se aprecian mejor en la Ilustración 7-4.

4.2.4. *Análisis estadístico de la población de microorganismos benéficos*

Tabla 6-4: Cuadro de Análisis de la Varianza de la población de microorganismos benéficos

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	214.17	5	42.83	1.0783E+16	$<0,0001$
TRATAMIENTO	214.17	5	42.83	sd	sd
Error	0	24	0		
Total	214.17	29			

Realizado por: Masaquiza Ana, 2023.

El análisis estadístico representa la cantidad de microorganismos benéficos encontrados en muestras de suelo de dos áreas diferentes: bosque y plantación forestal. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) (Tabla 6-4) para evaluar si hay diferencias significativas en la cantidad de microorganismos benéficos entre las dos áreas.

El análisis de varianza (ANOVA) indica que hay una diferencia estadísticamente significativa en la cantidad de microorganismos entre las áreas (p-valor $<0,0001$). El análisis de Tukey (ANEXO k) muestra que hay diferencias significativas en la cantidad de microorganismos entre cada una de las áreas (B1, B3, P3, B2, P2 y P1), excepto entre B2, P2 y P1, donde no hay una diferencia significativa.

El análisis indica que hay diferencias significativas en la cantidad de microorganismos encontrados en muestras de suelo de bosque y plantación forestal, y las diferencias son más pronunciadas entre B1, B3 y P3, y menos entre B2, P2 y P1. Esto puede ser el resultado de

diferencias en las condiciones del suelo, la biodiversidad y otros factores ambientales entre las dos áreas.

En resumen, los resultados sugieren que la cantidad de microorganismos beneficiosos presentes en el suelo es significativamente mayor en el bosque B que en la plantación forestal P. Además, dentro del bosque B, las medias más altas se encuentran en B1 y B3.

Por todo lo anterior expuesto, en la presente investigación se acepta la hipótesis alternativa: Existe mayor presencia de microorganismos benéficos en el suelo de bosque nativo que en el suelo de la plantación forestal de la Corporación Sumak Tarpuy y se rechaza la hipótesis nula: En el suelo de bosque nativo y plantación forestal de la Corporación Sumak Tarpuy existen igual número de microorganismos benéficos.

4.3. Discusión

Los resultados evidencian que dentro del ecosistema bosque predominan la abundancia de la población fúngica considerando los tres sitios en las que se realizó el muestreo de suelo (B1, B2 y B3), al igual que en las muestras de suelo de los tres sitios de la plantación forestal (P1, P2, y P3). No obstante, existe mayor diversidad fúngica en el suelo de bosque.

Dentro de las muestras de suelo de bosque analizados las especies más abundantes de hongos fueron *Cladosporium spp.*, *Alternaria spp.*, *Botryosphaeria spp.*, *Cladosporium herbarum*, *Fusarium solani*, *Metarhizium spp.*, *Penicillium albocoremium*, *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma koningiopsis* este resultado es similar los hallados por Ortiz (2016, p. 91) en el bosque protector Aguarongo puesto que se encontró géneros como *Aspergillus sp.* (Sacheri et al., 2022: pp. 20-32) *Penicillium sp.*, *Trichoderma sp.*, y *Fusarium sp.* Por otro lado, Mendoza y Torres (2016: pp. 289-292) realizó un estudio comparativo de la población fúngica presente en el suelo bosque intervenido y no intervenido. Algunos de los géneros (*Penicillium sp.*, *Fusarium sp.*) encontrados en el bosque no intervenido también se encontró en este estudio. Los géneros de hongos mencionados son típicos de sistemas terrestres (Baker y Bennett, 2007: pp.3-13; Zhang et al., 2005: pp. 251-257).

La presencia de algunas especies de hongos puede indicar diferentes condiciones ambientales en el bosque y la plantación, lo que puede tener implicaciones para la salud de las plantas y el ecosistema en general. Por ejemplo. La presencia de *Lasiodiplodia spp.* en una alta frecuencia relativa puede indicar su papel importante en la degradación de la materia orgánica en el ecosistema donde se tomó la muestra (Kimbrough et al., 1981: pp. 1-581). También la presencia de

especies de *Aspergillus spp*, *Colletotrichum spp*. y *Fusarium spp*. es relevante ya que son conocidas por su capacidad de producir compuestos con actividad biológica, como enzimas, metabolitos secundarios y péptidos antimicrobianos, entre otros (Riolo et al., 2022: pp. 1-29; Ibrahim, Mohamed y Khedr, 2017: pp. 791-800).

La presencia de *Aspergillus flavus* y *Aspergillus niger* solo en el suelo de la plantación forestal podría ser un indicador del tipo de prácticas de cultivo, el tipo de suelo o la composición química del sustrato utilizado previo al establecimiento de la plantación forestal, puesto que, en el caso de *Aspergillus flavus* es un hongo saprófito del suelo que infecta y contamina los cultivos de semillas antes y después de las cosechas (Amaike y Keller, 2011: pp. 107-133).

En general, los resultados sugieren que la plantación forestal tiene niveles más bajos de microorganismos que el bosque. Además, los análisis estadísticos indican que estas diferencias son altamente significativas (Prob. < 0.0001), lo que sugiere que las diferencias observadas no son el resultado de la casualidad. Estos resultados reflejan la condición del bosque donde existe mayor variabilidad de nichos ecológicos y microclimas, mientras que en la plantación forestal presenta una menor diversidad, debido a que es un ambiente más homogéneo e intervenida por la actividad antropogénica.

En general los hongos benéficos hallados tanto suelo de bosque y plantación forestal fueron: *Metarhizium spp*, *Penicillium albocoremium*, *Penicillium spp*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma koningiopsis*, *Trichoderma spp*. *Levadura* y *Penicillium spp*. mismos géneros de hongos benéficos fueron hallados en estudios de caracterización realizados por Erazo et al., (2020: pp. 313-328); Souza et al., (2018: p.); Ortiz (2016: p. 91); Martinez et al., (2005: pp. 35-39).

Es importante destacar que la clasificación como benéfico o perjudicial de los hongos puede variar dependiendo del contexto. Por ejemplo, algunas especies que son benéficas en un ecosistema pueden ser perjudiciales en otro. Además, la presencia de ciertos hongos perjudiciales puede ser necesaria para mantener el equilibrio del ecosistema (Piepenbring et al., 2016: pp. 57-91).

En cuanto a la existencia de microorganismos benéficos, basando en el análisis estadístico presentado, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Los resultados muestran que hay una diferencia significativa en la cantidad de microorganismos beneficiosos entre el bosque y la plantación forestal, con una mayor presencia de microorganismos beneficiosos en el bosque en comparación con la plantación forestal. Por lo tanto, la hipótesis nula de que hay un número igual de microorganismos benéficos en el suelo de bosque y plantación forestal de la Corporación Sumak Tarpuy se rechazada y se acepta la hipótesis alternativa de que

hay una mayor presencia de microorganismos beneficiosos en el suelo de bosque que en el suelo de la plantación forestal de la Corporación Sumak Tarpuy.

Aunque no fue objeto del presente estudio, también se hallaron hongos perjudiciales como: *Alternaria spp.*, *Aspergillus spp.*, *Botryosphaeria spp.*, *Candida spp.*, *Cladosporium herbarum*, *Colletotrichum spp.*, *Fusarium solani*, *Lasiodiplodia spp.*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus piperis*, *Curvularia aérea*, *Rizhopus spp.*, *Sporobolomyces spp.*, *Streptomyces spp.*. Es importante tener en cuenta que la presencia de hongos perjudiciales no siempre indica un problema en la plantación forestal o bosque, ya que algunos hongos son parte del microbiota normal del suelo y no causan daños significativos. Sin embargo, algunos de los hongos identificados pueden ser patógenos y causar enfermedades en las plantas, por lo que es necesario tomar medidas preventivas para evitar su propagación (Sosa et al., 2009: pp. 39-57).

El hallazgo de los géneros *Trichoderma*, y *Metarhizium* exclusivamente en los suelos del bosque dentro de la zona de estudio, es sumamente importante, puesto que la población fúngica de estas áreas puede proporcionar información valiosa para comprender la dinámica ecológica de los bosques. Además, este tipo de información puede ser útil para el diseño de estrategias de gestión ambiental, incluyendo la selección de especies de hongos benéficos para la implementación de prácticas agrícolas y forestales sostenibles.

Los resultados obtenidos de la observación, conteo y aislamiento de colonias fúngicas indican que los suelos de la plantación forestal y bosque analizado es un hábitat diverso y complejo de microorganismos, y que las especies identificadas pueden ser relevantes para diferentes procesos biológicos y ecológicos (Villalba, 2018, pp. 1-20).

CONCLUSIONES

El estudio permitió aislar microorganismos benéficos a partir de suelos de bosque nativo y plantación forestal de la Corporación Sumak Tarpuy, en cantón Colta, provincia de Chimborazo.

De las seis muestras de suelo analizadas, las muestras del bosque son las que registran el mayor número de aislamiento de géneros fúngicos considerado benéficos, además, los resultados indican que existen diferencias en la población fúngica de los suelos de bosque y plantación forestal de la Corporación Sumak Tarpuy, y que algunas especies están presentes únicamente en la plantación, mientras que otras están presentes en ambos tipos de suelo.

Después de analizar las colonias de hongos beneficiosos en muestras de suelo de bosque y plantación forestal, y realizar una búsqueda extensa en la literatura científica para encontrar hongos que puedan controlar enfermedades y plagas, se encontró que algunas especies, como *Metarhizium spp*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma koningiopsis* y *Trichoderma spp.*, tienen un gran potencial en esta tarea.

RECOMENDACIONES

Realizar actividades de conservación de los microorganismos aun presentes en los bosques y que son considerados benéficos.

Se recomienda evaluar la función que cumple cada uno de los hongos benéficos identificados dentro del ecosistema bosque y plantación forestal.

Evaluar en el laboratorio la acción antagónica que cumple cada uno de los hongos con potencial de combatir plagas y enfermedades.

Realizar nuevos estudios comparativos de hongos en bosque y plantación utilizando nuevas técnicas como la PCR.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Alexandra. & LEGUIZAMO, E.J., *Métodos y técnicas de cuantificación microbiana empleados en la industria de alimentos, farmacéutica, agrícola y ambiental.* Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

ALVAREZ, M., *Caracterización de microorganismos benéficos provenientes de tres pisos altitudinales de Azuay-Ecuador y su influencia en el cultivo de fresa.* S.l.: Universidad Agraria la Molina.

AMAIKE, S. & KELLER, N.P. Aspergillus flavus. *Annual Review of Phytopathology* [en línea], vol. 49, pp. 107-133. ISSN 00664286. DOI 10.1146/annurev-phyto-072910-095221. Disponible en: https://www.aspergillus.org.uk/article_database/aspergillus-flavus/.

AMINAH, S., MUTTALIB, A., NORKHADIJAH, S., ISMAIL, S. & PRAVEENA, S.M., Application of Effective Microorganism (EM) in Food Waste Composting : A review Application of Effective Microorganism (EM) in Food Waste Composting : A review. *Asia Pacific Environmental and Occupational Health Journal*, vol. 2, no. 1, pp. 37-47.

AQUIAHUATL, M. de los A., VOLKE, T., PRADO, L., SHIRAI, K., RAMIREZ, F. & SALAZAR, M., *Manual de prácticas de laboratorio Microbiología general.* México: Universidad Autónoma Metropolitana.

ARIAS, A, Microorganismos Eficientes Y Su Beneficio Para La Agricultura Y El Medio Ambiente. *Journal De Ciencia E Ingeniería*, vol. 02, no. 02, pp. 42- 45pp.

ARIAS, Arnol, Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio ambiente. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, vol. 2, no. 2, pp. 42-45. ISSN 2145-2628. DOI 10.46571/jci.2010.2.7.

AVILA, G.M. de A., GABARDO, G., CLOCK, D.C. & LIMA JUNIOR, O.S. Use of efficient microorganisms in agriculture. *Research, Society and Development*, vol. 10, no. 8, pp. e40610817515. DOI 10.33448/rsd-v10i8.17515.

BAKER, S.E. & BENNETT, J.W., An overview of the genus aspergillus. *The Aspergilli: Genomics, Medical Aspects, Biotechnology, and Research Methods* [en línea]. S.l.: s.n., pp. 3-

13. [Consulta: 22 marzo 2023]. ISBN 9781420008517. Disponible en: <https://www.caister.com/hsp/abstracts/aspergillus/01.html>.

BALAREZO, J., *Obtención de Vermicompost con aplicación de microorganismos benéficos, utilizando residuos Orgánicos domésticos*. S.l.: Universidad Católica de Cuenca.

BALASUBRAMANIAN, A. Soil Microorganisms. . S.l.: 2017.

BANKS, O. Level 3 - Soil, pp. 2016.

BARREIRO, J.R., *Establecimiento de plantaciones forestales y su incidencia en la recuperación de suelos degradados*. S.l.: Universidad Estatal del Sur de Manabí.

BAUTISTA, A. & GONZALEZ, N., Caña de azúcar en la región de Los Ríos, Estado de Tabasco. *Universidad y Ciencia* [en línea], vol. 21, no. 41, pp. 37-40. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15404105>.

BHATTACHARYYA, P.N., GOSWAMI, M.P. & BHATTACHARYYA, L.H., Perspective of beneficial microbes in agriculture under changing climatic scenario: a review. *Journal of Phytology*, vol. 8, no. April, pp. 26. DOI 10.19071/jp.2016.v8.3022.

BHATTI, N. & QURESHI, K., Effect of effective microorganisms on soil physical properties. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology* [en línea], vol. 24, no. 3, pp. 233-242. [Consulta: 7 febrero 2023]. ISSN 0254-7821. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/200649587_Effect_of_Effective_Microorganisms_on_Soil_Physical_Properties.

BLAIZE JONATHAN, SUTER, E. & CORBO, C., Serial Dilutions and Plating: Microbial Enumeration. *JoVE Science Education Database. Microbiology*, no. 6, pp. 7-10.

CAMPO-MARTÍNEZ, A.D.P., ACOSTA-SANCHEZ, R.L., MORALES-VELASCO, S. & PRADO, F.A., Ealuation of microorganisms of mountain (MM) in the production of chard on the plateau of Popayán. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 12, no. 1, pp. 79-87.

CARRILLO, L. Microbios del suelo. *Manual de Microbiología Agrícola*, no. 1, pp. 69-118.

CARTER, M.R. & GREGORICH, E.G. *Soil Sampling and Methods of Analysis: Second Edition*. S.l.: Canadian Society of Soil Science. ISBN 9781420005271.

CORPORACIÓN DE PROMOCIÓN DE EXPORTACIONES E INVERSIONES, *Planeación estratégica: plantaciones forestales en el Ecuador*. 2007. S.l.: s.n.

DASGUPTA, D. & BRAHMAPRAKASH, G.P., Soil Microbes are Shaped by Soil Physico-chemical Properties: A Brief Review of Existing Literature. *International Journal of Plant & Soil Science* [en línea], pp. 59-71. [Consulta: 7 febrero 2023]. DOI 10.9734/ijpss/2021/v33i130409. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/350315730_Soil_Microbes_are_Shaped_by_Soil_Physico-chemical_Properties_A_Brief_Review_of_Existing_Literature.

ECUADOR FORESTAL, *Bosque Nativo*. 2015. S.l.: s.n. ISBN 9563104994. 2015.

ENRIQUEZ, J., BRITO, E. & MENDOZA, F., 2010: p. Caracterización preliminar de aislamiento de Microorganismos, mediante la técnica de E.M., a nivel de comunidades vegetales en dos zonas de vida ecológicamente diferentes. ,

ERAZO SANDOVAL, N.S., MANZANO OCAÑA, J.C. & PATIÑO CASTILLO, B.D., Caracterización Molecular de la Diversidad Fúngica de los Bosques Lluclud y Palictahua: Potencialidades en Control Biológico/Molecular Characterization of Diversity Fungic of the Lluclud and Palictahua Forests: Potential in Biological Control. *KnE Engineering*, vol. 2020, pp. 313-328. DOI 10.18502/keg.v5i2.6249.

ERIC DURNFORD, Bio-Structure: Microorganisms and their Influence on Soil Structure. [en línea]. [Consulta: 25 enero 2023]. Disponible en: <https://www.nurturegrowthbio.com/post/bio-structure-microorganisms-and-their-influence-on-soil-structure>.

EVAS, B., *Evaluación de microorganismos eficaces para el tratamiento de aguas residuales de grupo Rossi*. S.l.: Escuela Politécnica Nacional.

FAO, *Global planted forests thematic study: results and analysis*. Rome: s.n. ISBN 2013206534.

FAO, *Planted forests: Uses, impacts and sustainability*. S.l.: s.n. ISBN 9781845935641.

FCA, *Guía de actividades prácticas microbiología agrícola*. S.l.: Facultad de Ciencias Agropecuarias.

FEIJOO, M.A.L. & REINALDO, J.R.M., Efficient microorganisms and its benefits for farmers. *Revista científica Agroecosistemas*, vol. 4, no. 2, pp. 68-70.

FERREIRA, F. V., HERRMANN-ANDRADE, A.M., CALABRESE, C.D., BELLO, F., VÁZQUEZ, D. & MUSUMECI, M.A., Effectiveness of Trichoderma strains isolated from the rhizosphere of citrus tree to control *Alternaria alternata*, *Colletotrichum gloeosporioides* and *Penicillium digitatum* A21 resistant to pyrimethanil in post-harvest oranges (*Citrus sinensis* L. (Osbeck)). *Journal of Applied Microbiology* [en línea], vol. 129, no. 3, pp. 712-727. ISSN 13652672. DOI 10.1111/jam.14657. Disponible en: https://watermark.silverchair.com/jambio0712.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kKhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAAscwgLDBgkqhkiG9w0BBwagggK0MIICsAIBADCCAqkGCSqGSIb3DQEHATAeBgIghkgBZQMEAS4wEQQM074cdTMzjFm3yN6GAgEQgIICemUWpMiDsz4IRM3zKl6ZUBgw47xBGXJQsrYaC88ONY9L.

GONZÁLEZ, M., Efectividad de trichoderma spp. Para el control de hongos patógenos de la semilla y el suelo en el cultivo del frijol. *Fitosanidad* [en línea], vol. 9, no. 1, pp. 37-41. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/2091/209117836018.pdf>.

GRANDA, M., Análisis Socio-Ambiental En Doce Parroquias Amazónicas De Ecuador Y Su Relación Con Actividades De Conservación De Bosques Nativos. *UIDE*, pp. 107.

HDC, Types of green manures. *Horticulture Development Company* [en línea], pp. 1-16. [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en: https://www.organicresearchcentre.com/manage/authincluds/article_uploads/iota/technical-leaflets/green-manures-species-selection.pdf.

HERRERA, A., El valor de los microorganismos en el suelo | Disagro. [en línea]. [Consulta: 25 enero 2023]. Disponible en: <https://www.disagro.com/el-valor-de-los-microorganismos-en-el-suelo>.

IBRAHIM, S.R.M., MOHAMED, G.A. & KHEDR, A.I.M., γ -Butyrolactones from *Aspergillus* Species: Structures, Biosynthesis, and Biological Activities. *Natural Product Communications* [en línea], vol. 12, no. 5, pp. 791-800. ISSN 15559475. DOI

10.1177/1934578X1701200526.

Disponible

en:

<https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1934578X1701200526>.

INIAP, Efecto del manejo de suelo sobre las poblaciones microbianas en suelos de la Sierra del Ecuador. S.l.:

J. CHARLES & WALL, D.A., Micorrizas vesiculo- Arbusculares en parcelas que se encuentran en sucesion-regeneracion en los andes tropicales. *Japanese Society of Biofeedback Research*, vol. 19, pp. 709-715. DOI 10.20595/jjbf.19.0_3.

JAZMÍN HERNÁNDEZ-MELCHOR, D., FERRERA-CERRATO, R. & ALARCÓN, A., Trichoderma: IMPORTANCIA AGRÍCOLA, BIOTECNOLÓGICA, Y SISTEMAS DE FERMENTACIÓN PARA PRODUCIR BIOMASA Y ENZIMAS DE INTERÉS INDUSTRIAL. *Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia*, vol. 35, no. 1, pp. 98-112. ISSN 0719-3890.

JUSOH, M.L.C., MANAF, L.A. & LATIFF, P.A., Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, vol. 10, no. 1. ISSN 2052336X.

KIMBROUGH, J.W., ALEXOPOULOS, C.J. & MIMS, C.W., Introductory Mycology. *Mycologia* [en línea], vol. 73, no. 3, pp. 581. [Consulta: 23 marzo 2023]. ISSN 00275514. DOI 10.2307/3759615. Disponible en: https://books.google.com/books/about/INTRODUCTORY_MYCOLOGY_4TH_ED.html?hl=es&id=1VW9vFRyW_0C.

KUMAR, S.S., Eco-friendly practice of utilization of food wastes. *International Journal of Pharmaceutical Science Invention ISSN (Online)*, vol. 2, no. 1, pp. 2319-6718.

LI, X., CHEN, L. & WANG, Y. Influence of Initial Microbial Community Structure on the Composting Process.

LIFE & VIDA SANA, Microorganismos del suelo y biofertilización. *Vida Sana*, pp. 1/43.

LILLO, A., RAMÍREZ, H., REYES, F., OJEDA, N. & ALVEAR, M., Actividad biológica del suelo de bosque templado en un transecto altitudinal, Parque Nacional Conguillío (38° S),

Chile. *Bosque*, vol. 32, no. 1, pp. 46-56. ISSN 03048799. DOI 10.4067/S0717-92002011000100006.

LOZANO, D. & YAGUANA, C. Funcionalidad ecológica en plantaciones de eucalipto, en el Bosque Nacional Ipanema: cuál es la importancia de las plantaciones forestales en la restauración de áreas degradadas? *Bosques Latitud Cero*, vol. 11, no. 2, pp. 10-31. ISSN 1390-3683. DOI 10.54753/blc.v11i2.1094.

MADIGAN, M., MARTINKO, J. & PARKER, J., *Brock, biología de los microorganismos*. 2004. S.l.: Pearson. ISBN 84-205-3679-2.

MANTZOUKAS, S. & ELIOPOULOS, P.A., Endophytic entomopathogenic fungi: A valuable biological control tool against plant pests. *Applied Sciences (Switzerland)* [en línea], vol. 10, no. 1, pp. 1-13. ISSN 20763417. DOI 10.3390/app10010360. Disponible en: [https://com-mendeley-prod-publicsharing-pdfstore.s3.eu-west-1.amazonaws.com/0d63-CC-BY-2/10.3390/app10010360.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEjR%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCWV1LXdIc3QtMSJGMEQCIHanjY4Fa1ZYrh8oJ6zqLKjXwi1XyWmd8sNGyO%2Fjsb3AiB](https://com-mendeley-prod-publicsharing-pdfstore.s3.eu-west-1.amazonaws.com/0d63-CC-BY-2/10.3390/app10010360.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEjR%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCWV1LXdIc3QtMSJGMEQCIHanjY4Fa1ZYrh8oJ6zqLKjXwi1XyWmd8sNGyO%2Fjsb3AiB).

MARANDO, G. *Estudio de los cambios, durante el proceso de restauración, en la materia orgánica, la biomasa microbiana y la actividad biológica de suelos degradados enmendados con lodos de EDAR sometidos a diferentes postratamientos*. S.l.: Universitat Politèctica de Catalunya.

MARTÍNEZ, O., VALENZUELA, E. & GODOY, R., HONGOS AISLADOS DESDE SUELOS DE BOSQUES DE ARAUCARIA-NOTHOFAGUS DESPUES DE UN INCENDIO EN EL PARQUE NACIONAL TOLHUACA. *Boletín Micológico*, vol. 20, no. 1981, pp. 35-39. ISSN 0719-3114. DOI 10.22370/bolmicol.2005.20.0.268.

MAZINANI, Z., ZAMANI, M. & SARDARI, S., Isolation and identification of phyllospheric bacteria possessing antimicrobial activity from *Astragalus obtusifolius*, *Prosopis juliflora*, *Xanthium strumarium* and *Hippocrepis unisiliqiosa*. *Avicenna Journal of Medical Biotechnology*, vol. 9, no. 1, pp. 31-37. ISSN 20084625.

MENDOZA, P. & TORRES, C., Determinación y comparación de microhongos del suelo de un bosque húmedo premontano en Dagua, Valle del Cauca. *Revista de Ciencias* [en línea], vol.

20, no. 2, pp. 27-35. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcien/v20n2/0121-1935-rcien-20-02-00027.pdf>.

MONTAÑO, N., SANDOVAL, A., CAMARGO, S. & SÁNCHEZ, J., Los microorganismos: pequeños gigantes. *Núm*, vol. 17, pp. 54-66. 2007.

MONTAÑO, N., SANDOVAL, A., CAMARGO, S. & SÁNCHEZ, J. Los microorganismos: pequeños gigantes. *Núm* [en línea], vol. 17, pp. 54-66. [Consulta: 18 septiembre 2022]. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=29411989003>. 2007.

MORALES, G., Microorganismos Edáficos Y Su Nivel De Asociación En Suelos De Cuatro Plantaciones Forestales En La Provincia De Los Ríos, Ecuador, 2016. *Uteq*, pp. 1-45.

MORENO, M., GELVEZ, I. & SANTOS, A., *Guía de muestreo de suelo para análisis microbiológico*. S.l.: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria agrosavia. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7404098>. ISBN 9789587404098.

MOSQUERA, J., *Valoración de la aplicación de inóculos de microorganismos benéficos (MOBs) en el cultivo de rábano (Raphanus sativus) en la granja experimental- Paute*. S.l.: Universidad Politécnica Salesiana.

OCHOA, C. & URROZ, F., *Determinación de la actividad microbiana como indicador como indicador biológico en suelos agrícolas del occidente de nicaragua*. S.l.: Universidad autónoma de Nicaragua-Leon.

OLAVE, J., *Tratamiento De Los Residuos Sólidos Domiciliarios Generados En El Asentamiento Humano Villa Alejandro Etapa III Distrito De Lurín, Utilizando La Técnica De Compostaje Y Generación De Microorganismos Benéficos Como Aceleradores De Descomposición*. S.l.: Universidad tecnológica de Lima del Sur.

ORTIZ, L., *Biodiversidad fúngica en el suelo del bosque protector aguarongo, provincia del Azuay - Ecuador* [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica Salesiana. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12814/1/UPS-CT006692.pdf>.

ÓSCAR, M., ALEJANDRO, F., LUIS, C., MARYETA, F. & EVELYN, G., *Plantaciones forestales Colombia*. 1. Bogotá: UPRA.

OSORIO, N., Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola: Segundo seminario regional comité regional eje cafetero*, pp. 43-71. DOI 10.38141/10791/0003_3.

OVIEDO, E., MARMOLEJO, L. & TORRES, P., Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. *Ingeniería, investigación y tecnología* [en línea], vol. 18, no. 1, pp. 31-42. [Consulta: 8 febrero 2023]. DOI 10.22201/fi.25940732e.2017.18n1.003. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/404/40449649003.pdf>.

PDOT, *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Santiago de Quito* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://www.gadsantiago.gob.ec/wp-content/uploads/2019/12/PDyOT-DE-SANTIAGO-2015.pdf>.

PÉREZ, E., BERNAL, A., MILANÉS, P., SIERRA, Y., LEIVA, M., MARÍN, S. & MONTEAGUDO, O., Eficiencia de *Trichoderma harzianum* (cepa a-34) y sus filtrados en el control de tres enfermedades fúngicas foliares en arroz. *Bioagro* [en línea], vol. 30, no. 1, pp. 17-26. Disponible en: <http://ve.scielo.org/pdf/ba/v30n1/art02.pdf>.

PIEPENBRING, M., LÓPEZ, F. & CÁCERES, O. Colaboradores escondidos – La Importancia de los Hongos en los Ecosistemas Información para Educación Ambiental. *Puente Biológico* [en línea], vol. 9, pp. 57-91. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Meike-Piepenbring-2/publication/321854269_Colaboradores_escondidos_-_La_Importancia_de_los_Hongos_en_los_Ecosistemas_Informacion_para_Educacion_Ambiental/links/5a35334c45851532e82f0fc0/Colaboradores-escondidos-La-Import.

PRADO, J., Más allá de los árboles PLANTACIONES FORESTALES. . S.l.:

REISBERG, E., HILDEBRANDT, U., RIEDERER, M. & HENTSCHEL, U., Phyllosphere bacterial communities of trichome-bearing and trichomeless *Arabidopsis thaliana* leaves. *Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology*, vol. 101, no. 3, pp. 551-560. ISSN 00036072. DOI 10.1007/s10482-011-9669-8.

REYNOLDS, J., Serial Dilution Protocols. *American Society For Microbiology*, no. September 2005, pp. 1-7.

RIOLO, M., LUZ, C., SANTILLI, E., MECA, G. & CACCIOLA, S.O., Secondary metabolites produced by *Colletotrichum* spp. on 1 different olive cultivars 2. [en línea], pp. 1-29. [Consulta: 23 marzo 2023]. DOI 10.1101/2022.11.18.517023. Disponible en: <https://doi.org/10.1101/2022.11.18.517023>.

RODRÍGUEZ, S., GARCÍA, X. & GUTIÉRREZ, Á., Efecto del fuego sobre algunos microorganismos en un sitio de plantación forestal. *Revista Ciencia Forestal en México*, vol. 18, no. 73, pp. 57-75.

ROJAS, A., *Conceptos y práctica de microbiología general*. Palmira: Universidad Nacional De Colombia.

ROJAS, P.H., Estudio del efecto de la aplicación de microorganismos efectivos en la calidad del biol en un proceso de biodigestión anaeróbica. *UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA*, pp. 1-77.

ROLDÁN, A., GARCÍA-ORENES, F. & LAX, A., An incubation experiment to determine factors involving aggregation changes in an arid soil receiving urban refuse. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 26, no. 12, pp. 1699-1707. ISSN 00380717. DOI 10.1016/0038-0717(94)90323-9.

RUANGWONG, O.U., PORNURIYA, C., PITIJA, K. & SUNPAPAO, A., Biocontrol mechanisms of *Trichoderma koningiopsis* PSU3-2 against postharvest anthracnose of chili pepper. *Journal of Fungi* [en línea], vol. 7, no. 276, pp. 1-10. ISSN 2309608X. DOI 10.3390/jof7040276. Disponible en: [https://com-mendeley-prod-publicsharing-pdfstore.s3.eu-west-1.amazonaws.com/a3cc-PUBMED/10.3390/jof7040276/jof_07_00276_pdf.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEKD%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCWV1LXdlc3QtMSJHMEUCIQDtPg5VHg%2Fmti630rO8vmJJqp%2Fmfb](https://com-mendeley-prod-publicsharing-pdfstore.s3.eu-west-1.amazonaws.com/a3cc-PUBMED/10.3390/jof7040276/jof_07_00276_pdf.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEKD%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FwEaCWV1LXdlc3QtMSJHMEUCIQDtPg5VHg%2Fmti630rO8vmJJqp%2Fmfb).

SABAS, S.P., AMOS, C.D., WOSTRY, A. & FARES, M.J., Evaluation of EM technology on maize Growth, Development and Yield in Morogoro Tanzania. , no. October, pp. 68.

SACHERI, K., FERNÁNDEZ, J., MOLINA, N. & ANDRADE, D., First report of two aspergillus species isolated from mangrove forest in ecuador. *Granja*, vol. 35, no. 1, pp. 20-32. ISSN 13908596. DOI 10.17163/lgr.n35.2022.02.

SAFWAT, S.M. & MATTA, M.E., *Environmental applications of Effective Microorganisms: a review of current knowledge and recommendations for future directions* [en línea]. 2021. S.l.: s.n. [Consulta: 10 noviembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s44147-021-00049-1>.

SANDERS, E.R., Aseptic laboratory techniques: Plating methods. *Journal of Visualized Experiments* [en línea], no. 63, pp. 1-18. [Consulta: 13 marzo 2023]. ISSN 1940087X. DOI 10.3791/3064. Disponible en: www.jove.com/url:http://www.jove.com/video/3064.

SENPLADES, Programa Conservación de Bosques y REDD+ ENTIDAD EJECUTORA: PRESENTADO A: SENPLADES Quito, Junio de 2014. . S.l.:

SHARMA, A., SHARMA, R., ARORA, A., SHAH, R., SINGH, A., PRANAW, K. & NAIN, L., Insights into rapid composting of paddy straw augmented with efficient microorganism consortium. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, vol. 3, no. 2. ISSN 22517715. DOI 10.1007/s40093-014-0054-2.

SMITH, J.L., PAPENDICK, R.I., BEZDICEK, D.F. & LYNCH, J.M., Soil organic matter dynamics and crop residue management. *Soil microbial ecology*, pp. 65-94.

SOSA-RODRÍGUEZ, T., SÁNCHEZ-NIEVES, J. & MELGAREJO, L.M., Hongos en Ecosistemas de Manglar. [en línea], vol. 38, no. 1, pp. 39-57. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/mar/v38n1/v38n1a03.pdf>.

SOUZA, M.F. de, SILVA, A.S.A. da & BON, E.P.S., A novel *Trichoderma harzianum* strain from the Amazon Forest with high cellulolytic capacity. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 14. ISSN 18788181. DOI 10.1016/j.bcab.2018.03.008.

SRIVASTAVA, D., MAURYA, R., KHAN, N., NAYYER, A., MISHRA, A., et. al. General introduction of bio-inputs vs. Chemical inputs in agriculture and ill effects. *Biofertilizers and Biopesticides in Sustainable Agriculture* [en línea], pp. 1-21. [Consulta: 8 febrero 2023]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/326676203_GENERAL_INTRODUCTION_OF_BIO-INPUTS_VS_CHEMICAL_INPUTS_IN_AGRICULTURE_AND_ILL_EFFECTS.

TEJADA, C., VILLABONA, Á. & GARCÉS, L., Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*, vol. 18, no. 34, pp. 109-123. ISSN 0123-7799. DOI 10.22430/22565337.209.

TORSVIK, V., SALTE, K., SORHEIM, R. & GOKSOYR, J., Comparison of phenotypic diversity and DNA heterogeneity in a population of soil bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 56, no. 3, pp. 776-781. ISSN 00992240. DOI 10.1128/aem.56.3.776-781.1990.

TORTORA, G.J., FUNKE, B.R. & CASE, C.L., Virus, viroides y priones. *Introducción a la Microbiología* [en línea], pp. 386-418. [Consulta: 13 marzo 2023]. Disponible en: https://books.google.com/books/about/Introducci%C3%B3n_a_la_microbiolog%C3%ADa.html?hl=es&id=Nxb3iETuwpIC.

TRABELSI, D. & MHAMDI, R., Microbial inoculants and their impact on soil microbial communities: A review. *BioMed Research International*, vol. 2013, pp. 1-12. ISSN 23146133. DOI 10.1155/2013/863240.

TRIVEDI, P.C., PANDEY, S. & BHADAURIA, S., *Text Book of Microbiology* [en línea]. 1. Jaipur: Aavishkar. ISBN 9788179103067. Disponible en: https://rlmc.edu.pk/themes/images/gallery/library/books/Microbiology/Text_Book_of_Microbiology.pdf.

UNC, *Guía de actividades prácticas microbiología agrícola*. S.l.: Facultad de Ciencias Agropecuarias.

UNC, Microorganismos del suelo vallecaucano, claves para conservar los ecosistemas. [en línea]. [Consulta: 10 noviembre 2022]. Disponible en: <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/microorganismos-del-suelo-vallecaucano-claves-para-conservar-los-ecosistemas>.

US FDA, Evaluation and Definition of Potentially Hazardous Foods - Chapter 3. Factors that Influence Microbial Growth. *Safe Practices for Food Processes* [en línea], pp. 1. [Consulta: 25

enero 2023]. Disponible en: <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/SafePracticesforFoodProcesses/ucm094145.htm>.

VÁSCONEZ KARLA, *Caracterización de actinomicetos y microorganismos solubilizadores de fosfato en un suelo cultivado con vainita (Phaseolus vulgaris L.)*. S.l.: s.n.

VEGA, B., *Descomposición de materia orgánica y mejoramiento del suelo utilizando el inoculante biológico bacthon*. S.l.: Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

VILLALBA, A., Conociendo a Los Hongos Microscópicos. *Nuestra Tierra* [en línea], no. 35, pp. 1-20. Disponible en: http://www.erno.geologia.unam.mx/uploads/nuestra-tierra/archivos/35/Revista_Nuestra_tierra_Ed35_version_web.pdf.

WHITMAN, W., *BERGEY'S MANUAL OF Systematic Bacteriology*. S.l.: s.n. ISBN 9781439801994.

XU, H.L., Effects of a microbial inoculant and organic fertilizers on the growth, photosynthesis and yield of sweet corn. *Journal of Crop Production*, vol. 3, no. 1, pp. 183-214. ISSN 1092678X. DOI 10.1300/J144v03n01_16.

YADAV, A.N., Plant Microbiomes and Its Beneficial Multifunctional Plant Growth Promoting Attributes. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, vol. 3, no. 1. DOI 10.19080/ijesnr.2017.03.555601.

YOU, Y., WANG, J., HUANG, X., TANG, Z., LIU, S. & SUN, O.J., Relating microbial community structure to functioning in forest soil organic carbon transformation and turnover. *Ecology and Evolution*, vol. 4, no. 5, pp. 633-647. ISSN 20457758. DOI 10.1002/ece3.969.

ZELLER, V., BARDGETT, R.D. & TAPPEINER, U., Site and management effects on soil microbial properties of subalpine meadows: A study of land abandonment along a north-south gradient in the European Alps. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 33, no. 4-5, pp. 639-649. ISSN 00380717. DOI 10.1016/S0038-0717(00)00208-X.

ZHANG, C.L., DRUZHININA, I.S., KUBICEK, C.P. & XU, T., Trichoderma biodiversity in China: Evidence for a North to South distribution of species in East Asia. *FEMS Microbiology*

Letters [en línea], vol. 251, no. 2, pp. 251-257. [Consulta: 22 marzo 2023]. ISSN 03781097. DOI 10.1016/j.femsle.2005.08.034. Disponible en: <http://www.isth.info>.



ANEXOS

ANEXO A: RECONOCIMIENTO DEL ÁREA DE ESTUDIO



Plantación forestal



Bosque

ANEXO B: DESINFECCIÓN DE MATERIALES PARA RECOLECCIÓN DE SUELO



ANEXO C: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO



ANEXO D: FASE DE LABORATORIO



ANEXO E: MONITOREO DE CRECIMIENTO DE COLONIAS ALAS 45H



ANEXO F: AISLAMIENTO DE MICROORGANISMOS



ANEXO G: CONSERVACIÓN DE MUESTRAS EN CRIOVIAL



ANEXO H: ANOVA Y PRUEBA DE TUKEY PARA AN/BAC (UFC/G)

Anova de AN/BAC (UFC/g)

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
RaizAN/Bac	30	1	1	4.80E-06	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7193281366	5	1438656273	8.80837E+15	<0,0001
Tratamientos	7.19E+09	5	1438656273	8.80837E+15	<0,0001
Error	3.90E-06	24	1.60E-07		
Total	7193281366	29			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00079					
Error: 0,0000 gl: 24					
Tratamientos	Medias	n	E.E.		
B2	42900.6	5	0	A	
P2	2889.75	5	0		B
P1	2889.69	5	0		C
B1	813.63	5	0		D
B3	595.12	5	0		E
P3	82.66	5	0		

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXO I: ANOVA Y PRUEBA DE TUKEY PDA/HONGOS (UFC/g)

Anova de PDA/Hongos (UFC/g)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
PDA/Hongos (UFC/g)	30	1	1	3.70E-06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	61964928.3	5	12392985.7	6.23163E+15	<0,0001
Tratamientos	61964928.3	5	12392985.7	6.23163E+15	<0,0001
Error	4.80E-08	24	2.00E-09		
Total	61964928.3	29			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00009

Error: 0,0000 gl: 24

Tratamientos	Medias	n	E.E.				
B2	4287.82	5	0	A			
P1	1292.36	5	0		B		
B1	741.66	5	0			C	
B3	415.19	5	0				D
P2	318.56	5	0				E
P3	83.07	5	0				F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXO J: ANOVA Y PRUEBA DE TUKEY PARA GYM/ACTIBAC (UFC/g)

Anova de GYM/actibac (UFC/g)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
GYM/actibac (UFC/g)	30	1	1	2.30E-06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1136928.93	5	227385.79	8.81347E+15	<0,0001
Tratamientos	1136928.93	5	227385.79	8.81347E+15	<0,0001
Error	6.20E-10	24	2.60E-11		
Total	1136928.93	29			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00001

Error: 0,0000 gl: 24

Tratamientos	Medias	n	E.E.				
B3	428.25	5	0	A			
P1	410.57	5	0		B		
B2	410.49	5	0			C	
P3	59.16	5	0				D
P2	20.81	5	0				E
B1	5.74	5	0				F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXO K: ANOVA Y PRUEBA DE TUKEY PARA POBLACIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Beneficos	30	1	1	2.00E-06

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	214.17	5	42.83	1.0783E+16	<0,0001
TRATAMIENTO	214.17	5	42.83	sd	sd
Error	0	24	0		
Total	214.17	29			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00000

Error: 0,0000 gl: 24

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
B1	9	5	0	A
B3	3	5	0	B
P3	2	5	0	C
B2	2	5	0	C
P2	2	5	0	C
P1	1	5	0	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXO L: BASE DE DATOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN MICROBIANA

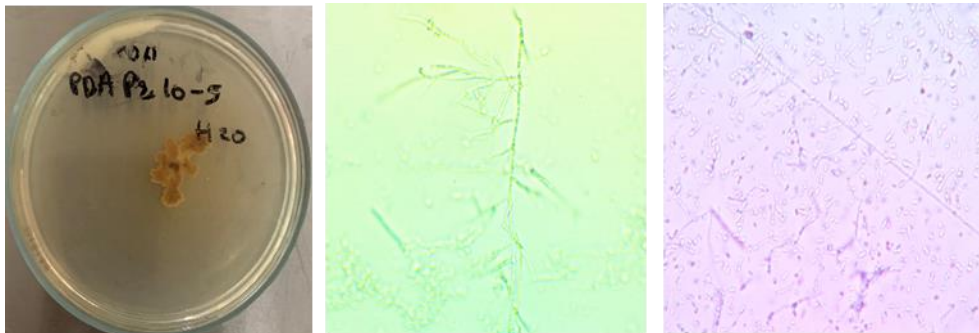
N°	Código	Medio de cultivo	Muestra	Disolución	Especie	Morfología	TOTAL
1	7AM	PDA	B1	D10-2	<i>Fusarium solani.</i>	Perjudiciales	1
2	9AM	PDA	B1	D10-1	<i>Colletotrichum spp.</i>	Perjudiciales	1
3	10AM	PDA	B1	D10-1	<i>Trichoderma koningiopsis / H. koningiopsis.</i>	Benéfico	1
4	11AM	PDA	B1	D10-1	<i>Penicillium spp.</i>	Benéfico	1
5	13AM	PDA	B1	D10-1	<i>Trichoderma spp.</i>	Benéfico	1
6	14AM	PDA	B1	D10-2	<i>Fusarium spp.</i>	Perjudiciales	1
7	15AM	PDA	B1	D10-2	<i>Metarhizium spp.</i>	Benéfico	1
8	16AM	PDA	B1	D10-2	<i>Aspergillus spp.</i>	Perjudiciales	1
9	19AM	PDA	B1	D10-2	<i>Cladosporium spp.</i>	Perjudiciales	1
10	23AM	PDA	B1	D10-2	<i>Aspergillus spp.</i>	Perjudiciales	1
11	24AM	PDA	B1	D10-5	<i>Alternaria spp.</i>	Perjudiciales	1
12	29AM	PDA	B1	D10-5	<i>Lasiodiplodia spp.</i>	Perjudiciales	1
13	32AM	PDA	B1	D10-5	<i>Actinomicetos spp.</i>	Benéfico	1
14	33AM	PDA	B1	D10-5	<i>Actinomicetos spp.</i>	Benéfico	1
15	37AM	PDA	B1	D10-2	Levadura	Benéfico	1
16	40AM	PDA	B1	D10-1	Levadura	Benéfico	1
17	41AM	PDA	B1	D10-1	Levadura	Benéfico	1

18	53AM	PDA	B1	D10-1	<i>Botryosphaeria spp.</i>	Perjudicial es	1
19	56AM	PDA	B1	D10-2	<i>Aspergillus spp.</i>	Perjudicial es	1
20	60AM	PDA	B1	D10-1	<i>Colletotrichum spp.</i>	Perjudicial es	1
21	62AM	PDA	B1	D10-1	<i>Aspergillus spp.</i>	Perjudicial es	1
22	65AM	PDA	B1	D10-1	<i>Fusarium spp.</i>	Perjudicial es	1
23	4AM	PDA	B2	D10-1	<i>Trichoderma harzianum.</i>	Benéfico	1
24	6AM	PDA	B2	D10-1	<i>Colletotrichum spp.</i>	Perjudicial es	1
25	12AM	PDA	B2	D10-2	<i>Cladosporium spp.</i>	Perjudicial es	1
26	22AM	PDA	B2	D10-1	<i>Cladosporium herbarum.</i>	Perjudicial es	1
27	30AM	PDA	B2	D10-5	<i>Lasiodiplodia spp.</i>	Perjudicial es	1
28	39AM	PDA	B2	D10-2	<i>Lasiodiplodia spp.</i>	Perjudicial es	1
29	58AM	PDA	B2	D10-2	<i>Penicillium albocoremium.</i>	Benéfico	1
30	61AM	PDA	B2	D10-1	<i>Fusarium spp.</i>	Perjudicial es	1
31	64AM	PDA	B2	D10-1	<i>Aspergillus spp.</i>	Perjudicial es	1
32	2AM	PDA	B3	D10-2	<i>Actinobacterias spp.</i>	Benéfico	1
33	5AM	PDA	B3	D10-1	<i>Colletotrichum spp.</i>	Perjudicial es	1
34	8AM	PDA	B3	D10-1	<i>Penicillium spp.</i>	Benéfico	1
35	25AM	PDA	B3	D10-4	<i>Candida spp.</i>	Perjudicial es	1
36	26AM	PDA	B3	D10-4	Colonia de bacterias	Perjudicial es	1
37	27AM	PDA	B3	D10-6	<i>Lasiodiplodia spp.</i>	Perjudicial es	1
38	34AM	PDA	B3	D10-3	Levadura	Benéfico	1
39	35AM	PDA	B3	D10-1	<i>Candida spp.</i>	Perjudicial es	1
40	36AM	PDA	B3	D10-1	<i>Candida spp.</i>	Perjudicial es	1
41	17AM	PDA	P1	D10-6	<i>Lasiodiplodia spp.</i>	Perjudicial es	1
42	18AM	PDA	P1	D10-6	<i>Lasiodiplodia spp.</i>	Perjudicial es	1
43	31AM	PDA	P1	D10-6	Colonia de bacterias	Perjudicial es	1
44	38AM	PDA	P1	D10-5	Levadura	Benéfico	1
45	42AM	PDA	P1	D10-4	<i>Aspergillus spp.</i>	Perjudicial es	1
46	43AM	PDA	P1	D10-4	<i>Aspergillus piperis.</i>	Perjudicial es	1
47	46AM	PDA	P1	D10-5	<i>Aspergillus piperis.</i>	Perjudicial es	1
48	50AM	PDA	P1	D10-6	<i>Rizhopus spp.</i>	Perjudicial es	1
49	51AM	PDA	P1	D10-3	<i>Curvularia aérea.</i>	Perjudicial es	1
50	54AM	PDA	P1	D10-3	<i>Curvularia aérea.</i>	Perjudicial es	1
51	1AM	PDA	P2	D10-5	<i>Streptomyces spp.</i>	Perjudicial es	1
52	20AM	PDA	P2	D10-2	<i>Aspergillus spp.</i>	Perjudicial es	1
53	28AM	PDA	P2	D10-5	Levadura	Benéfico	1
54	44AM	PDA	P2	D10-2	<i>Aspergillus spp.</i>	Perjudicial es	1
55	45AM	PDA	P2	D10-3	<i>Aspergillus spp.</i>	Perjudicial es	1
56	47AM	PDA	P2	D10-3	<i>Aspergillus piperis.</i>	Perjudicial es	1
57	48AM	PDA	P2	D10-1	<i>Aspergillus piperis.</i>	Perjudicial es	1
58	49AM	PDA	P2	D10-5	<i>Aspergillus niger.</i>	Perjudicial es	1

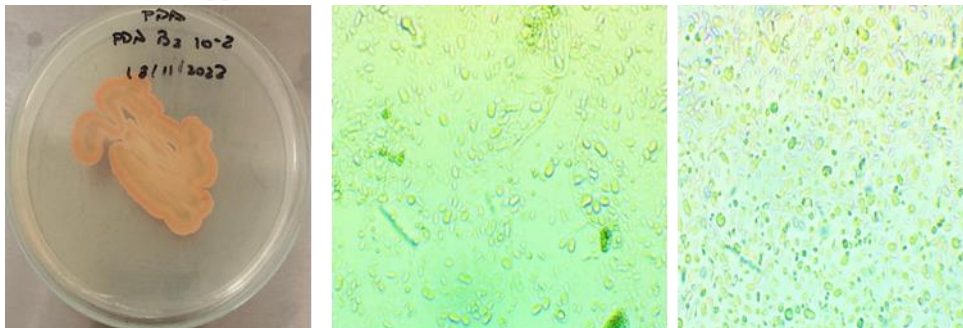
59	52AM	PDA	P2	D10-2	<i>Aspergillus flavus.</i>	Perjudiciales	1
60	55AM	PDA	P2	D10-2	<i>Fusarium spp.</i>	Perjudiciales	1
61	57AM	PDA	P2	D10-2	<i>Penicillium spp.</i>	Benéfico	1
62	21AM	PDA	P3	D10-6	<i>Penicillium spp.</i>	Benéfico	1
63	59AM	PDA	P3	D10-5	<i>Sporobolomyces spp.</i>	Perjudiciales	1
64	63AM	PDA	P3	D10-2	<i>Penicillium spp.</i>	Benéfico	1

ANEXO M: REGISTRO DE LA DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA Y MICROSCÓPICA DE HONGOS AISLADOS

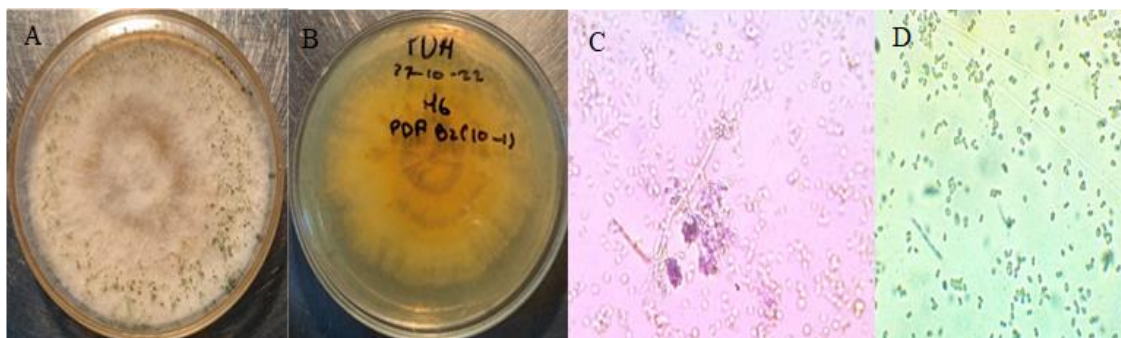
Streptomyces spp.



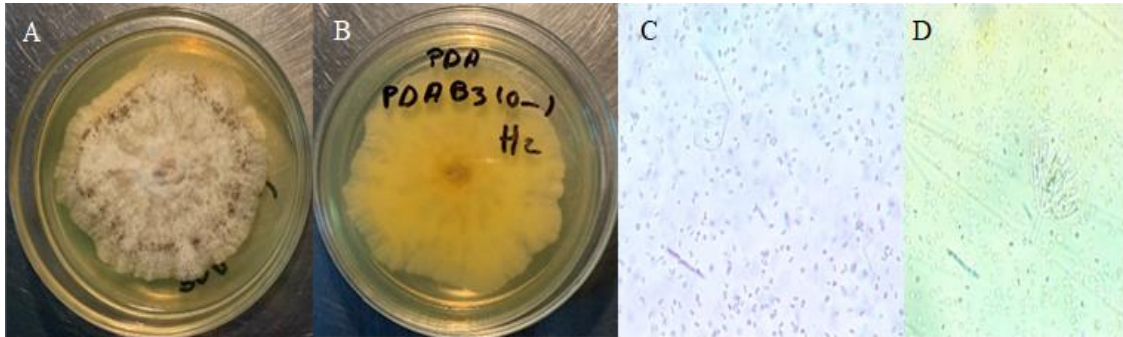
Actinobacterias spp.



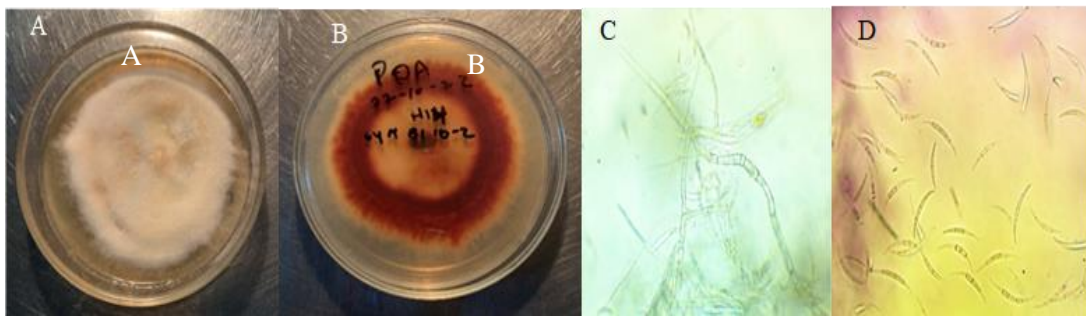
Trichoderma harzianum. A, B) fiálides y conidios. C,D) conidióforos de forma piramidal



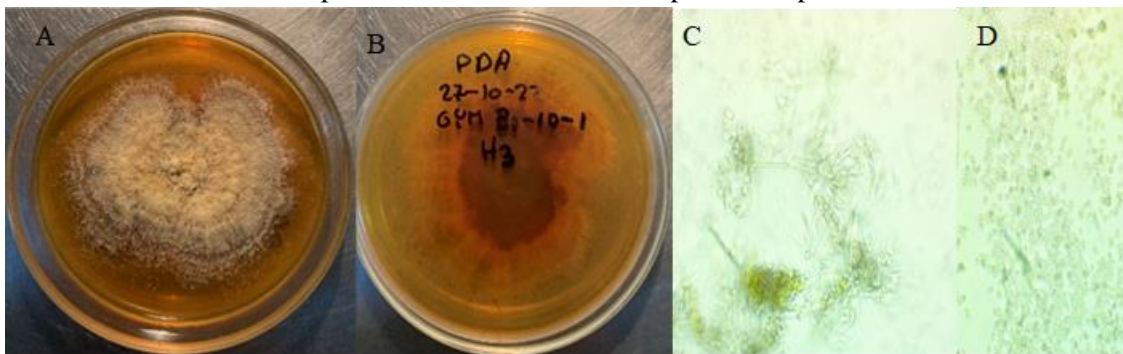
Colletotrichum spp. A, B) Aislado de forma circular o irregular, con margen entero, de coloración blanco a salmón o gris a negro con masas conidiales producidas en anillos concéntricos. C, D) Conidios falcadas y fusiforme con ambos extremos agudos; y un tamaño que varía entre 16-18 micras de largo y 3-4 micras de ancho.



Fusarium solani. A) Colonia blanca con pigmento violeta, textura lanosa superficie plana. B) Reverso beige con tomate. C, D) Hifas septadas macro y micro conidios en forma de medialuna con 2 a 3 septos.

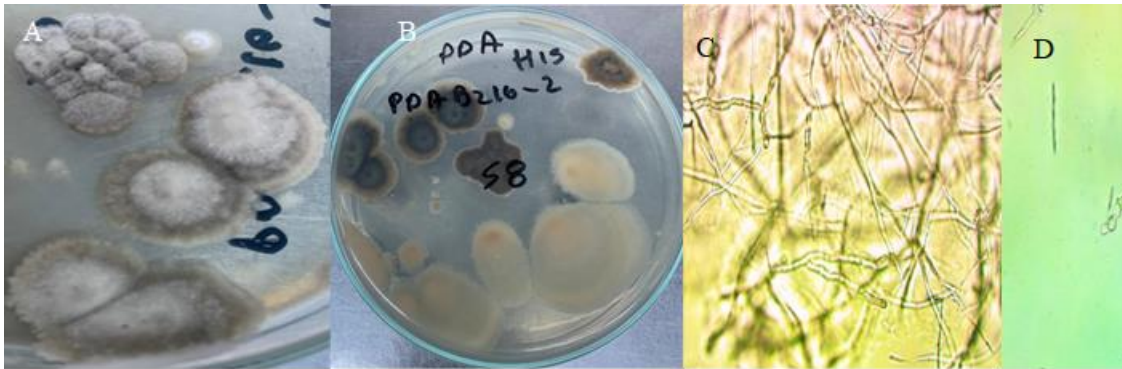


Penicillium spp A) Colonias con crecimiento rápido; al principio de color blanco y con el tiempo adquieren color azul, azul verdoso, verde, gris oliva o tonos rosados. B) Reverso amarillo cremoso. La textura puede ser plana, filamentosa, aterciopelada o algodonosa, presentar gotas de exudado. C) Microscópicamente presenta hifas hialinas septadas. D) Conidióforos tienen ramas secundarias, denominadas métulas. Estas son de forma cilíndrica, con paredes lisas y portan de 3 a 6 fiálides en forma de matraz; de las cuales surgen largas cadenas sin ramificar de esporas o conidios formando el penacho o pincel

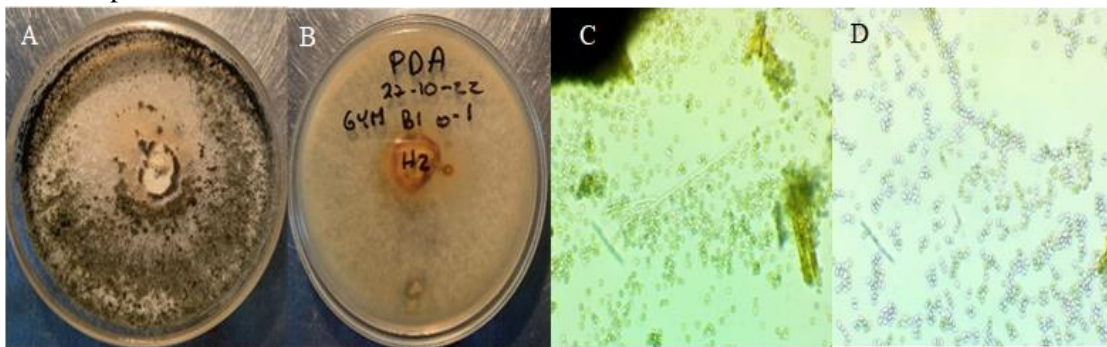


Penicillium albocoremium. A, B) Colonias son normalmente de crecimiento rápido; al principio de color blanco y con el tiempo adquieren color, gris oliva, con reverso amarillo

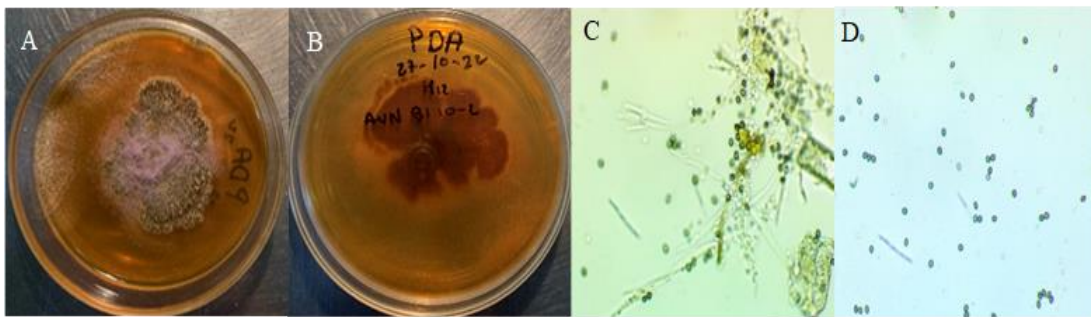
cremoso. **C, D)** La textura algodonosa; además puede presentar gotas de exudado. hifas hialinas septadas. Los conidióforos tienen ramas secundarias, denominadas métulas.



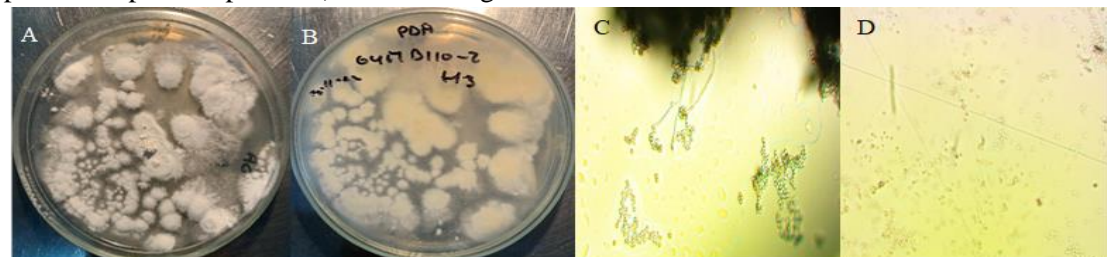
Trichoderma koningiopsis/H. koningiopsis. **A, B, C)** Fiálides, conidióforo **D)** Conidios, clamidospora



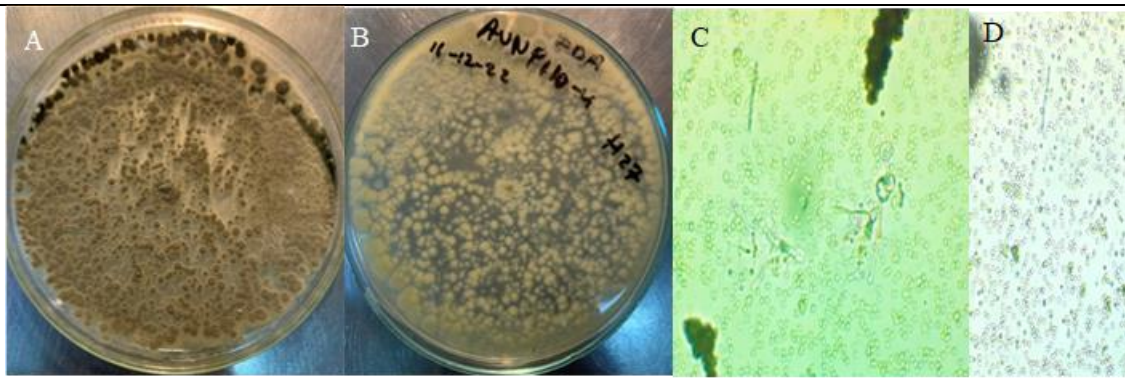
Metarhizium spp. **A, B)** Presentan colinas circulares con borde regular, inicialmente presenta un aspecto algodonoso de color blanco, con el tiempo se torna polvoriento y de color verde oliváceo debido a la abundante esporulación, el centro de la colonia sin esporulación es color amarillo **C, D)** Conidióforos que nacen a partir de hifas ramificadas.



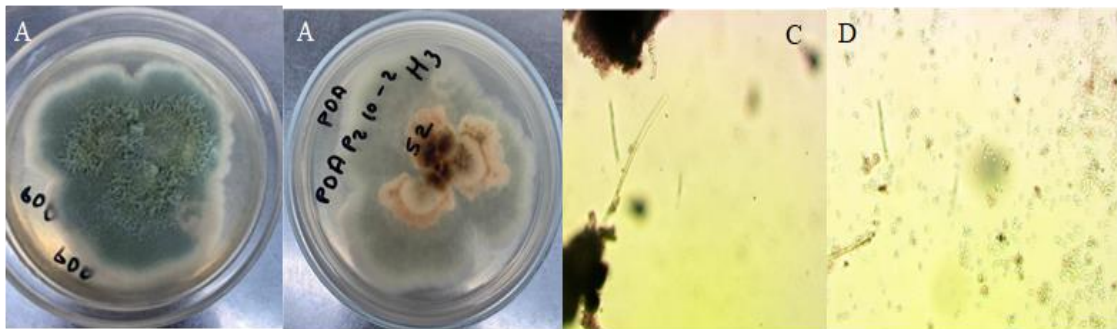
Aspergillus spp. **A)** Colonias blancas beige en desarrollo tornándose verdes claros con textura polvosa superficie plana. **B)** Reverso beige con café



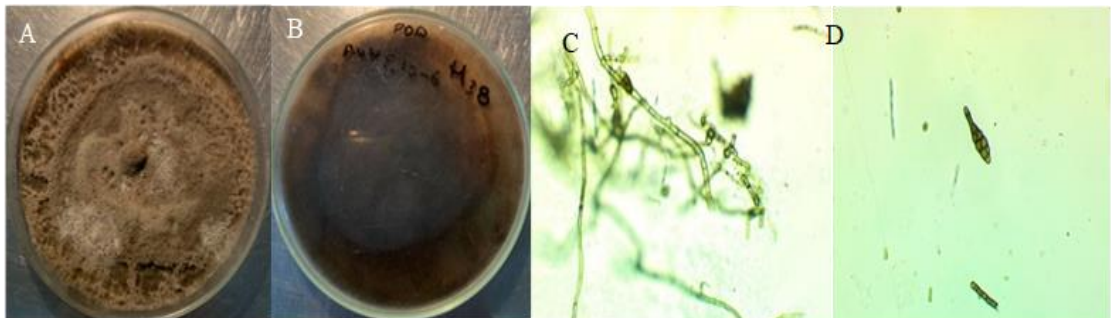
Aspergillus piperis. **A)** Colonias negras con textura polvosa superficie plana. **B)** Reverso beige con café. **C, D)** Conidióforos hialinos vesícula globosa que contiene conidios globosos y oscuros.



Aspergillus flavus. **A, B)** Colonias de crecimiento rápido, de 3 a 5 días; comienzan con una tonalidad blanco-amarillenta, algodonosas; con el tiempo se tornan pulverulentas y con tonalidades verdosas o verde-amarillentas. **C, D)** Hifas hialinas septadas y puede tener reproducción sexual (con formación de ascosporas en el interior de ascas) y asexual (con formación de conidios).



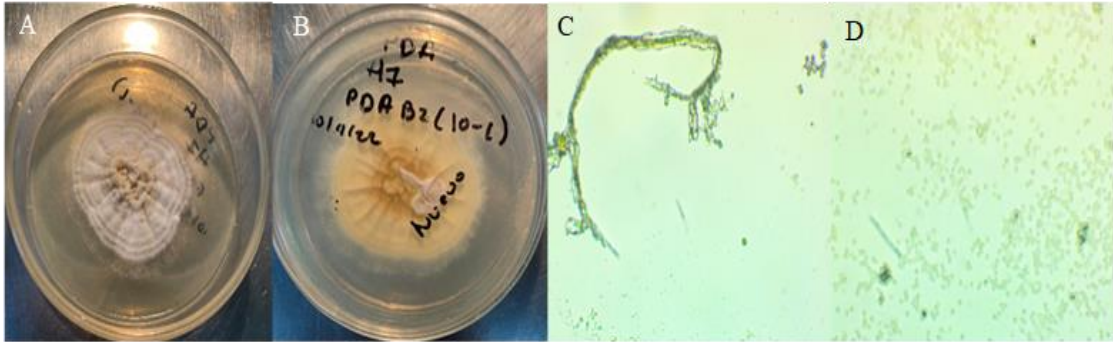
Lasiodiplodia spp. **A)** Colina gris con micelio lanoso y micelio aéreo. **B)** Reverso color negro. **C, D)** Hifas septadas color café.



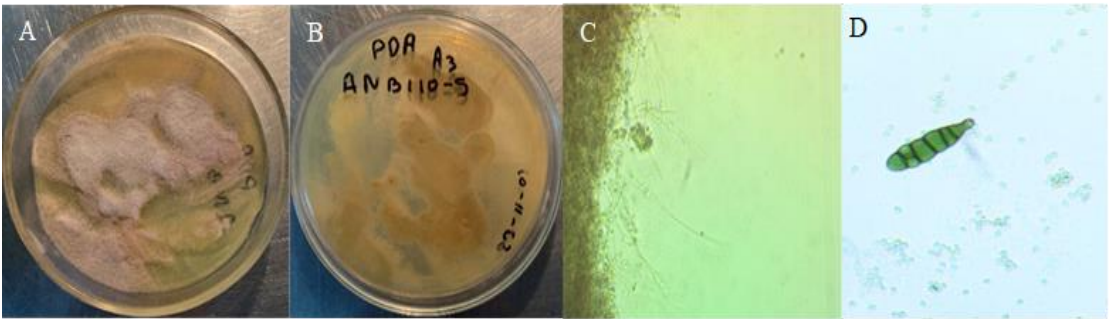
Cladosporium spp. **A, B)** Aislamiento de color gris claro con círculos concéntricos. **C, D)** Presenta hifas finas, septadas, ramificadas de color hialino a marrón



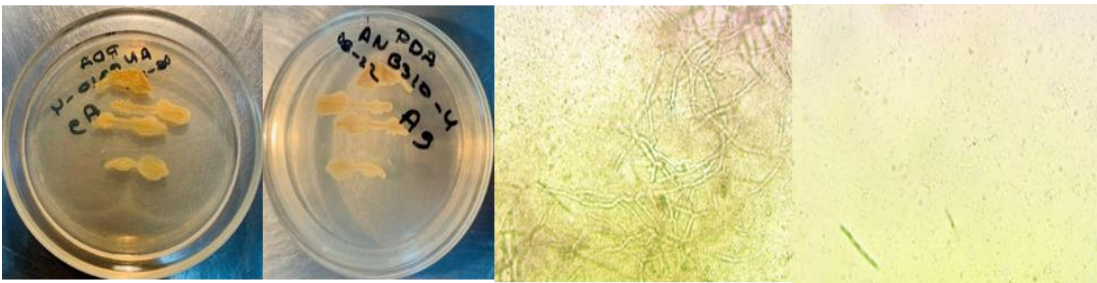
ladosporium herbarum. **A, B)** Aislamiento de color gris claro con círculos concéntricos. **C, D)** Presenta hifas finas, septadas, ramificadas de color hialino a marrón.



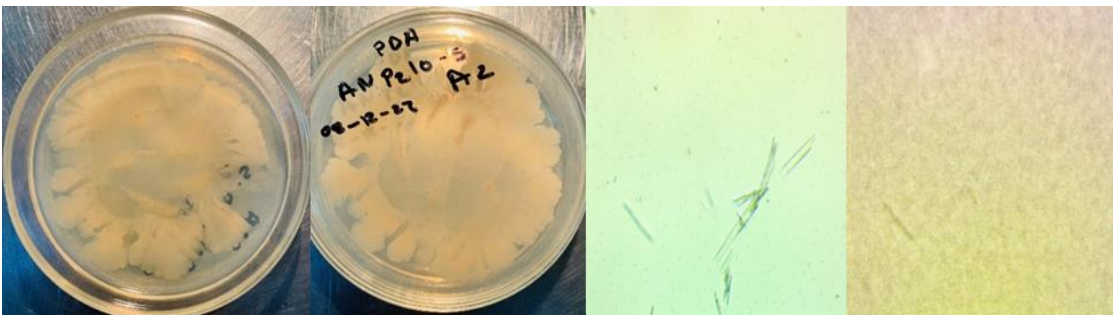
Alternaria spp. **A, B)** Cadenas de conidios de color marrón pálido y en forma de frasco. **C, D)** Tienen tabiques transversos y longitudinales.



Candida spp.



Levaduras





epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 29 / 06 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Ana María Masaquiza Caizabanda
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Ingeniería Forestal
Título a optar: Ingeniera Forestal
f. responsable: Ing. Cristhian Fernando Castillo Ruiz


Ing. Cristhian Castillo



0979-DBRA-UTP-2023