

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA



EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE HONGOS PRESENTES EN SUELOS DE AGROECOSISTEMAS DE LA PARROQUIA LA ESPERANZA, IMBABURA

Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario

AUTOR:

Ariel Steven Chamorro Molina

DIRECTOR/A:

Lic.. Ima Sumac Sánchez de Céspedes, MSc.

Ibarra, 2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN

CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA

EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE HONGOS PRESENTES EN SUELOS DE AGROECOSISTEMAS DE LA PARROQUIA LA ESPERANZA, IMBABURA

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su
presentación como requisito parcial para obtener Título de:

INGENIERO/A AGROPECUARIO/A

APROBADO:

Lic. Ima Sumac Sánchez de Céspedes, MSc.

DIRECTOR



FIRMA

Ing. Luis Marcelo Albuja Illescas, MSc.

ASESOR



FIRMA

A



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401872668		
APELLIDOS Y NOMBRES:	CHAMORRO MOLINA ARIEL STEVEN		
DIRECCIÓN:	Ibarra		
EMAIL:	aschamorrom@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	N/A	TELÉFONO MÓVIL:	0979659803

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE HONGOS PRESENTES EN SUELOS DE AGROECOSISTEMAS DE LA PARROQUIA LA ESPERANZA, IMBABURA.
AUTOR (ES):	Chamorro Molina Ariel Steven
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	02/07/2025
PROGRAMA:	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agropecuario
ASESOR /DIRECTOR:	Lic. Ima Sánchez, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 02 días del mes de julio de 2025

EL AUTOR:

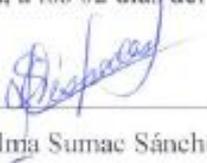


Nombre: Ariel Steven Chamorro Molina

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Chamorro Molina Ariel Steven bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 02 días del mes de julio de 2025



Lic. Irma Sumac Sánchez de Céspedes, MSc.

DIRECTOR DE TESIS

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 02 días del mes de julio del 2025

Ariel Steven Chamorro Molina: "Evaluación de la diversidad de hongos presentes en suelos de agroecosistemas de la parroquia la esperanza, Imbabura". Ingeniero Agropecuario.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 02 días del mes de julio del 2025, 65 páginas.

DIRECTOR (A): Lic. Ima Sumac Sánchez de Céspedes, MSc.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar de la diversidad de hongos de suelos presentes en agroecosistemas de la parroquia la Esperanza, Imbabura.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Caracterizar morfológicamente la diversidad fúngica presente en los suelos de los sitios de estudio.
- Determinar los índices de diversidad en los diferentes agroecosistemas.
- Analizar las funciones ecológicas de los hongos presentes en suelos de los agroecosistemas en estudio.

.....
Lic. Ima Sumac Sánchez de Céspedes, MSc.

Directora de Trabajo de Grado

.....
Ariel Steven Chamorro Molina

Autor

AGRADECIMIENTO

Durante todo el trayecto he tenido a grandes personas apoyándome ya que sin ese apoyo esto no habría sido posible. Agradezco a dios por darme salud y sabiduría para lograr este objetivo y a mis padres Miguel y Mariela por brindarme su ayuda, apoyo y paciencia que día a día me brindaron, por el esfuerzo diario que fue mi gran inspiración.

A mi novia Aylin por sus palabras de aliento cuando ya quería darme por vencido, por ser ese apoyo moral que nunca me dejo caer para lograr terminar mi carrera profesional.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi asesor, el Lic. Ima Sánchez, MSc. por su valiosa orientación, consejos y constante motivación durante todas las fases de esta investigación.

Agradezco también a los profesores y colegas de la carrera. Mi gratitud se extiende a las comunidades agrícolas de La Esperanza, quienes facilitaron el acceso a sus cultivos y contribuyeron de manera fundamental a la recolección de datos.

Finalmente, gracias a mis amigos y a cada persona que, de manera directa o indirecta, aportó al desarrollo y culminación de esta investigación.

Chamorro Molina Ariel Steven

DEDICATORIA

Dedico este estudio a mis padres Miguel y Mariela, quienes han sido mi pilar y fuente inagotable de inspiración, y a mis hermanos Angel, Mario y Wilmer cuyo amor y apoyo incondicional me impulsaron a superar cada obstáculo en este camino académico. Su fe en mis capacidades y sus sabias palabras me han guiado a lo largo de este viaje de aprendizaje y descubrimiento.

Chamorro Molina Ariel Steven

INDICE

RESUMEN.....	XIV
CAPITULO I.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Problema de investigación.....	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 Preguntas directrices.....	4
CAPITULO II.MARCO TEORICO.....	5
2.1 Importancia de la diversidad fúngica en la agricultura.....	5
2.1.1 Agroecosistemas	5
2.1.2 Componentes de agroecosistemas.....	5
2.1.3 Diversidad.....	6
2.1.4 El suelo	6
2.1.5 Biodiversidad del suelo	6
2.1.6 Indicadores biológicos de calidad del suelo	7
2.1.7 Macrofauna	8
2.1.8 Mesofauna	8
2.1.9 Microfauna	8
2.1.10 Hongos del suelo: importancia en ecosistemas y agricultura	9
2.1.11 Micorrizas: asociaciones simbióticas	9
2.1.12 Hongos filamentosos	9
2.1.13 Crecimiento de hongos filamentosos.....	10
2.1.14 Requerimientos nutricionales	10
2.1.15 Métodos de aislamiento e identificación fúngica	11
2.1.16 Importancia de los hongos en el suelo	11
2.1.17 Hongos micorrízicos	12
2.1.18 Hongos saprófitos	12
2.1.19 Hongos patógenos	13
2.1.20 Relevancia de las especies fúngicas para la investigación	13

2.2 Marco legal.....	14
2.2.1 Constitución de la República del Ecuador.....	14
2.2.2 Plan Nacional de Desarrollo Creación de Oportunidades	15
2.2.3 Código Orgánico del Ambiente (COA)	15
2.2.4 Ley de Gestión de la Biodiversidad y su Acceso	15
CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	17
3.1 Caracterización del área de estudio.....	17
3.2 Materiales, equipos, insumos y herramientas.....	18
3.3 Método.....	18
3.3.1 Método descriptivo	18
3.3.2 Método documental	19
3.3.3 Método de Campo	19
3.3.4 Muestreo	19
3.3.5 Diluciones seriadas: técnica para el análisis cuantitativo de hongos	20
3.3.6 Observación microscópica.....	21
3.3.7 Variables a evaluar	21
3.4 Manejo del experimento.....	24
3.4.1 Recolección de muestras	24
3.4.2 Diluciones seriadas	25
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1 Caracterización de las chakras.....	26
4.1.2 Segunda chakra	27
4.1.3 Tercera chakra	27
4.2 Diversidad de hongos aislados.....	28
4.3 Índice de similitud de Jaccard.....	30
4.4 Velocidad de crecimiento de colonias.....	31
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
5.1 CONCLUSIONES.....	44
5.2 RECOMENDACIONES.....	45
REFERENCIAS.....	47
ÍNDICE DE FIGURAS	
Figura 1 Mapa de ubicación del área de estudio	17
Figura 2 Muestras obtenidas de cada chakra	20

Figura 3 Muestreo de chakra.....	20
Figura 4 Diluciones: técnicas para el análisis cuantitativo de hongos	21
Figura 5 Observación microscópica óptico de las muestras de hongos aislados	22
Figura 6 Recolección de muestras	24
Figura 7 Primera chakra	26
Figura 8 Segunda chakra	27
Figura 9 Tercera chakra	28
Figura 10 Número de posibles especies de hongos por chakra	29
Figura 11 Velocidad de crecimiento de los hongos de la chakra 1	32
Figura 12 Velocidad de crecimiento de los hongos de la chakra 2	33
Figura 13 Velocidad de crecimiento de los hongos de la chakra 3	33
Figura 14 Caracterización macroscópica y microscópica de <i>Rhizopus</i> sp.	35
Figura 15 Caracterización macroscópica y microscópicas de <i>Trichophyton</i> sp.	36
Figura 16 Caracterización macroscópica y microscópicas de <i>Fusarium</i> sp.	36
Figura 17 Caracterización macroscópica y microscópicas de <i>Penicilium</i> sp.....	36
Figura 18 Caracterización macroscópica y microscópicas de <i>Microsporium</i> sp.	38
Figura 19 Caracterización macroscópica y microscópicas de <i>Clodosporium</i> sp.	38
Figura 20 Caracterización macroscópica y microscópicas de <i>Mucor</i> sp.	39
Figura 21 Caracterización macroscópica y microscópicas de <i>Absidia</i> sp.	39
Figura 22 Caracterización macroscópica y microscópicas de <i>Aspergillus</i> sp.	40
Figura 23 Caracterización macroscópica y microscópicas de <i>Trichoderma</i> sp.	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Materiales, Equipos, y Herramientas	18
Tabla 2 Presencia de especie de hongos en cada una de las chackras.....	30
Tabla 3 Índice de similitud de Jaccard.....	30
Tabla 4 Funciones en el Agroecosistemas de cada uno de los géneros de hongo encontrados.....	41

EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE HONGOS PRESENTES EN SUELOS DE AGROECOSISTEMAS DE LA PARROQUIA LA ESPERANZA, IMBABURA.

Ariel Chamorro

*Universidad Técnica del Norte

Correo: aschamorrom@utn.edu.ec.

RESUMEN

La importancia de estudiar la diversidad fúngica en suelos de agroecosistemas radica en su capacidad para influir en la salud del suelo, la sostenibilidad agrícola y la provisión de servicios ecosistémicos clave. El estudio se centra en caracterizar la diversidad morfológica de hongos presentes en diferentes suelos agrícolas y evaluar sus funciones ecológicas en relación con los agroecosistemas, analizando las funciones ecológicas de los hongos presentes en estos suelos. Para llevar a cabo el estudio, se emplearon métodos de aislamiento de cultivos directos a partir de suelos, utilizando medios selectivos que permitieron la identificación de las especies fúngicas presentes. Se realizaron observaciones microscópicas para confirmar las características morfológicas y el uso de técnicas de tinción permitió visualizar las estructuras fúngicas en detalle. Los resultados más relevantes mostraron que *Microsporium* sp. y *Cladosporium* sp. presentaron un patrón de crecimiento controlado en sus colonias, con diferencias significativas en la pigmentación y la textura que reflejan adaptaciones a diferentes ambientes. *Aspergillus* sp. y *Trichoderma* sp. mostraron un rápido crecimiento y la capacidad de colonizar diferentes sustratos con alta eficiencia, indicando una buena capacidad de dispersión y adaptación. En conclusión, se identificaron 16 posibles especies de hongos presentes en los suelos de los agroecosistemas estudiados en la parroquia La Esperanza, Imbabura. La presencia de estas especies fúngicas resalta la necesidad de prácticas agrícolas que promuevan la multiplicidad microbiana y el manejo sostenible de los suelos para fortalecer la resiliencia ante desafíos ambientales en la Esperanza.

Palabras clave: hongos del suelo, comunidades microbianas, sostenibilidad agrícola, funciones ecológicas, biodiversidad edáfica.

EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE HONGOS PRESENTES EN SUELOS DE AGROECOSISTEMAS DE LA PARROQUIA LA ESPERANZA, IMBABURA.

Ariel Chamorro

*Universidad Técnica del Norte

Email: aschamorrom@utn.edu.ec.

ABSTRACT

The importance of studying fungal diversity in agroecosystem soils lies in its ability to influence soil health, agricultural sustainability, and the provision of key ecosystem services. The study focuses on characterizing the morphological diversity of fungi present in different agricultural soils and assessing their ecological functions in relation to agroecosystems. To carry out the study, direct culture isolation methods from soils were employed, using selective media that allowed the identification of the fungal genera present. Microscopic observations were performed to confirm morphological characteristics, and the use of staining techniques allowed the fungal structures to be visualized in detail. The most relevant results showed that *Microsporum* sp. and *Cladosporium* sp. exhibited a controlled growth pattern in their colonies, with significant differences in pigmentation and texture that reflect adaptations to different environments. *Aspergillus* sp. and *Trichoderma* sp. They showed rapid growth and the ability to colonize different substrates with high efficiency, indicating a good dispersal and adaptation capacity. In conclusion, 16 potential fungal species were identified in the soils of the agroecosystems studied in the parish of La Esperanza, Imbabura. The presence of these fungal species highlights the need for agricultural practices that promote microbial multiplicity and sustainable soil management to strengthen resilience to environmental challenges in La Esperanza.

Keywords: soil fungi, microbial communities, agricultural sustainability, ecological functions, soil biodiversity.

CAPITULO I

1.1 Antecedentes

Las relaciones entre microbiología y agricultura son de gran importancia y se evidencia de diversas formas. En los suelos de los ecosistemas existen hongos patógenos para las plantas y otros que son capaces de actuar como controladores biológicos. Por otra parte, también algunos son necesarios para transformar productos agrícolas primarios en productos de mayor valor agregado, sobre todo para la alimentación. A su vez, existen diferentes organismos que participan en procesos de deterioro post-cosecha. Según menciona Soria (2016) si se quiere conocer la actividad microbiana que más influye en la agricultura hacia la sostenibilidad de la vida en el planeta, tenemos que saber qué poseemos en el suelo. En el ámbito de la agricultura, los microorganismos son fundamentales para mantener en buen estado la fertilidad de la tierra, para que se desarrollen cultivos vigorosos y sanos.

Según Margesin et al. (2016) la actividad humana interviene en las propiedades de la superficie y va acompañada del aporte de materia orgánica que se incluye específicamente al suelo. Luego de la remoción del impacto antrópico, es decir riesgos provocados por los seres humanos, los componentes biológicos se pierden debido a la contaminación y deforestación. La contribución de material orgánico estimula la actividad microbiológica y hay una mayor aportación de nutrientes que promueven el crecimiento de las plantas, lo que conduce a un aumento de la biomasa microbiana y la actividad enzimática. Los datos microbiológicos pueden contribuir a conocer los hábitos culturales y las enfermedades humanas relacionadas con las bacterias.

El suelo es un sistema complejo lleno de vida repleto de recursos biológicos, las tierras fértiles y productivas son un algo primario de la población y una parte esencial del ciclo de la vida. Las plantas utilizan los nutrientes básicos de la tierra y de la atmósfera para sintetizar los alimentos (Hatfield, 2017). Los microorganismos, controlan la productividad reciclando el carbono, nitrógeno, otros minerales de los residuos vegetales y animales para que vuelvan a estar disponibles para las plantas. La comunidad microbiana del suelo también regula la producción y destrucción de contaminantes ambientales, como el óxido nitroso, metano, nitrato y otros compuestos biológicamente tóxicos.

1.2 Problema de investigación

La diversidad de hongos en la superficie es la clave de un suelo fértil para una agricultura rentable, ya que algunos microorganismos actúan como controladores biológicos de diferentes enfermedades. Esto se ve afectado por la agricultura convencional, debido al uso excesivo de fungicidas utilizado por los agricultores. La microbiología se ve realmente afectada, por ende, no podemos tener una buena fertilidad y las enfermedades a las plantas son más numerosas. La contaminación altera la biodiversidad, reduciendo a su vez la materia orgánica existente en este territorio. La presente investigación tiene como fin determinar la diversidad de hongos en los agroecosistemas.

Según Arias y Piñeros (2018) las plagas y enfermedades reducen las producciones en los cultivos de una manera significativa, para el control de diversos problemas se hace uso de productos químicos, todos estos cumplen una función importante para tratar patógenos. El empleo continuo de los agroquímicos afecta a la actividad de los microorganismos. Los diversos procesos en los que actúan los organismos microscópicos son esenciales para la fertilidad, productividad de los cultivos y mayor calidad para el consumo de la población.

1.3 Justificación

De acuerdo con el estudio de Nannipieri (2017) el suelo contiene una gran cantidad de organismos con diversas actividades y funciones, los microorganismos tienen un lugar central al cumplir procesos importantes. La materia orgánica representa, no solo la energía vital para los organismos, sino que también es el principal proveedor de nutrientes, ya que la mayoría de las reservas de N y P están ligadas orgánicamente.

La importancia de los organismos del suelo radica en el uso de los residuos de las plantas, animales y los derivados de la materia orgánica como alimentos, es esencial ya que estos ayudan a la descomposición de residuos. Los nutrientes en exceso (nitrógeno, fósforo y azufre) son liberados dentro del suelo en formas que las plantas los puedan aprovechar (disponibilidad de nutrientes). También los residuos producidos por los microorganismos ayudan a la formación de la materia orgánica del suelo. Los materiales de desecho son más difíciles de descomponer que el material original de las plantas y animales, pero pueden ser usados por un gran número de organismos (Barrios y Sandoval, 2018).

La importancia de las interacciones planta-microorganismos en la estructura de agroecosistemas es ampliamente reconocida y dicha asociación es esencial para el crecimiento de cualquier especie vegetal. Según Burbano (2016) la densidad de la mayoría de los grupos de microorganismos se incrementa con relación a disponibilidad de nutrientes, algunos por procesos de descomposición, otros por solubilización, como es el caso del fosfato inorgánico transformándolo a orto fosfato, la que es una forma asimilable para las plantas; este tipo de adaptabilidad específica por parte de los microorganismos hace que estas poblaciones se denominen grupos funcionales.

La biodiversidad del suelo está amenazada por cambios antropogénicos mundiales, como la intensificación del uso de la tierra, la deforestación y los fenómenos climáticos. La gestión de la diversidad de la superficie ofrece la producción adecuada de plantas y la calidad de los alimentos. La agricultura industrializada reduce la capacidad biológica del territorio para autorregularse haciéndolos vulnerables a condiciones ambientales. Almacena las comunidades terrestres más diversas del planeta; alberga más del 25% de la variedad biológica mundial. La biodiversidad puede ayudar a evitar, reducir e invertir la degradación de la tierra. Para mantener y mejorar el hábitat de las personas y otras formas de vida en el planeta. Durante mucho tiempo, los organismos vivos han sido adoptados como una necesidad urgente de desarrollar un futuro más sostenible para todos (Gómez et al., 2022).

La vida terrestre con el flujo de agua ayuda a regular el exceso de nutrientes y la contaminación. La contribución de los microorganismos del suelo suele ser indirecta y es el resultado de su impacto en la dinámica de la materia orgánica. Afecta a la dinámica de la porosidad, así como a la composición de la superficie (cantidad de carbono orgánico disuelto y mineral). La biodiversidad tiene un impacto más directo con la salud humana al aumentar el contenido de nutrientes en los alimentos. Los métodos de cultivos agroecológicos producen plantas con una mayor concentración y variedad de antioxidantes. De acuerdo con Vallejo et al. (2021) la biodiversidad del suelo apoya a la salud y el bienestar de las personas mediante la regulación de organismos patógenos, además desempeñan un papel central en la actividad agrícola.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Evaluar la diversidad de hongos presentes en suelos de agroecosistemas de la parroquia la Esperanza, Imbabura.

1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar morfológicamente la diversidad fúngica presente en los suelos de los sitios de estudio.
- Determinar los índices de diversidad en los diferentes agroecosistemas.
- Analizar las funciones ecológicas de los hongos presentes en suelos de los agroecosistemas en estudio.

1.5 Preguntas directrices

- ¿Cuáles son las características morfológicamente la diversidad fúngica presente en los suelos de los sitios de estudio?
- ¿Cuáles son los índices de diversidad de hongos en los diferentes agroecosistemas analizados?
- ¿Qué funciones ecológicas desempeñan los hongos presentes en los suelos de los agroecosistemas en estudio?
- ¿Todos los hongos encontrados tienen las mismas características morfológicas?

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Importancia de la diversidad fúngica en la agricultura

El estudio de los hongos del suelo, en particular aquellos que interactúan con plantas en ecosistemas agrícolas, ha sido de creciente interés en la investigación científica debido a su papel esencial en la fertilidad del suelo y la productividad agrícola. Los hongos son fundamentales en el ciclo de nutrientes y pueden influir significativamente en el crecimiento de cultivos como el arroz. El marco teórico tiene como objetivo establecer los fundamentos científicos y metodológicos que respaldan el estudio de la diversidad fúngica en suelos agrícolas mediante técnicas como la siembra directa, el uso de trampas de arroz y las diluciones seriadas. A través de estos enfoques, se pretende identificar los principales hongos presentes en el suelo y evaluar su potencial para la agricultura sostenible (Arias y Piñeros, 2018).

2.1.1 Agroecosistemas

Según Gómez et al. (2022) los agroecosistemas son áreas rediseñadas para facilitar el cultivo agrícola e intervenido en paralelo a los factores naturales por el comportamiento humano acorde con la cultura, creencias, costumbres, motivaciones y técnicas empleadas. Por lo tanto, representan ecosistemas que se cultivan de manera equivalente, con componentes similares e interacciones y funciones, e incluyen policultivos, monocultivos, sistemas mixtos, agricultura, agro silvicultura, acuicultura y sistemas de pastizales, pastizales y tierras en barbecho. De esta manera, se encuentran en todo el mundo, desde humedales, tierras bajas hasta tierras áridas, montañas y sus interacciones con las actividades humanas, incluidas las actividades socioeconómicas y la diversidad cultural.

2.1.2 Componentes de agroecosistemas

Los agroecosistemas están compuestos por componentes biológicos que consisten en poblaciones de especies, las que pueden ser tanto cultivos domesticados como silvestres que crecen de forma espontánea en el sitio. Los componentes interactúan entre sí a través de diversas interacciones biológicas que influyen en los procesos ecológicos. De esta manera, para comprender cómo funcionan los agroecosistemas, resulta muy útil estudiar la ecología de poblaciones. Según Soria (2016) la población se define como un conjunto de individuos de la misma especie que comparten un mismo hábitat, tiempo y presentan propiedades biológicas

específicas que los unen en términos de reproducción y ecología. La afinidad ecológica se refiere a la presencia de interacciones entre los componentes biológicos de un agroecosistema, las cuales se generan debido a sus necesidades similares de supervivencia y reproducción.

2.1.3 Diversidad

Se han señalado múltiples aspectos en los cuales la biodiversidad taxonómica, funcional y genética puede contribuir al funcionamiento y la fortaleza de los agro sistemas, lo que a su vez repercutirá en la capacidad de estos sistemas para proporcionar diversos servicios ecosistémicos a las sociedades humanas. La producción agrícola depende en gran medida de factores como la fertilidad adecuada del suelo, el manejo eficiente de plagas y enfermedades, así como la polinización de los cultivos. Según Freire (2022) la biodiversidad desempeña un papel fundamental en el manejo de las plagas y mantiene agro sistemas con una vegetación diversificada, lo cual se presenta como una opción para reducir el daño por parte de herbívoros y aumentar los enemigos naturales.

2.1.4 El suelo

Según Barrios y Sandoval (2018) el recurso del suelo constituye el punto de partida esencial en cualquier proceso productivo. No obstante, muchas personas desconocen que este es un bien no renovable de gran trascendencia, ya que requiere más de mil años para formarse apenas un centímetro de capa fértil. De esta manera, implica que la tierra disponible actualmente será la única con la que contemos durante nuestra existencia. La base natural cumple funciones extraordinarias que con frecuencia pasan desapercibidas: sostiene la producción de alimentos, actúa como filtro natural del agua, representa una fuente valiosa de principios medicinales y ofrece herramientas clave para afrontar y adaptarse a los efectos del cambio climático.

2.1.5 Biodiversidad del suelo

Según Hatfield (2017) el recurso edáfico constituye el punto de partida esencial en cualquier proceso productivo. No obstante, muchas personas desconocen que este es un bien no renovable de gran trascendencia, ya que requiere más de mil años para formarse apenas un centímetro de capa fértil. Esto implica que la tierra disponible actualmente será la única con la que contemos durante nuestra existencia. La base natural cumple funciones extraordinarias que con frecuencia pasan desapercibidas: sostiene la producción de alimentos, actúa como filtro natural del agua,

representa una fuente valiosa de principios medicinales y ofrece herramientas clave para afrontar y adaptarse a los efectos del cambio climático.

La degradación de la tierra conlleva una disminución en la producción de alimentos, así como una reducción en la capacidad de almacenamiento de agua y carbono. Por lo tanto, esto agrava la inseguridad alimentaria y la escasez de agua, además de contribuir al cambio climático. La biodiversidad y el carbono orgánico presentan un papel importante en los ecosistemas y determinan en gran medida la capacidad de la tierra para producir alimentos, almacenar agua y reducir el cambio climático. Los elementos son fundamentales para aprovechar los numerosos beneficios económicos y ambientales de la tierra, conocidos como su multifuncionalidad.

2.1.6 Indicadores biológicos de calidad del suelo

Los indicadores biológicos del suelo son organismos o atributos relacionados con la actividad de la biota edáfica que reflejan el estado de salud, fertilidad y funcionalidad de un ecosistema. Entre los indicadores más comunes se encuentran la diversidad de microfauna, la abundancia de hongos, bacterias y nematodos, así como la actividad enzimática y la biomasa microbiana. Estos elementos son claves para evaluar la calidad del suelo porque responden de forma sensible a los cambios en el manejo agrícola, al uso de agroquímicos y a las condiciones ambientales (Barrios y Sandoval, 2018). En especial, los hongos del suelo desempeñan un papel fundamental al participar en la descomposición de materia orgánica, el reciclaje de nutrientes y la formación de estructuras estables del suelo, como los agregados, que promueven la retención de agua y aireación.

En contextos agroecológicos, la presencia y diversidad de hongos saprófitos, simbióticos o micorrízicos puede utilizarse como un bioindicador fiable del equilibrio ecológico del suelo. Por ejemplo, un suelo manejado de forma sostenible, sin el uso excesivo de fungicidas o labranza intensiva, suele presentar una mayor diversidad fúngica y estabilidad en sus procesos microbiológicos. En cambio, suelos degradados tienden a mostrar una reducción de estos organismos y una disminución en su actividad biológica. Según Barrios y Sandoval (2018), los indicadores biológicos no solo permiten detectar la calidad del suelo en el presente, sino también proyectar su capacidad de recuperación y sostenibilidad a largo plazo, siendo herramientas esenciales para la toma de decisiones en sistemas agrícolas resilientes.

2.1.7 Macrofauna

La macrofauna del suelo se compone de invertebrados que son fácilmente visibles a simple vista y que habitan total o parcialmente en el suelo. Entre ellos, se encuentran las lombrices de tierra, termitas, hormigas, milpiés, ciempiés, arañas, escarabajos, gallinas ciegas, grillos, chicharras, caracoles, escorpiones, chinches y larvas de moscas y mariposas. En un solo ecosistema, puede haber más de mil especies de macrofauna del suelo, llegando a densidades y biomásas de más de un millón de individuos y más de una tonelada por hectárea, respectivamente. Los organismos desempeñan múltiples funciones dentro del ecosistema y pueden ser agrupados en distintas categorías según criterios funcionales específicos (Heredia, 2020).

2.1.8 Mesofauna

La mesofauna del suelo realiza un papel fundamental en diversos procesos clave. Participa aceleradamente en la descomposición de la materia orgánica, haciendo y reciclando los nutrientes, especialmente en la mineralización del fósforo y el nitrógeno. Los diferentes grupos que conforman esta mesofauna tienen un impacto regulador en el ecosistema del suelo, ya que contribuyen a la formación de la microestructura mediante sus aportes de excreciones, secreciones y su propio ciclo vital (Hatfield, 2017). Además, la mesofauna del suelo desempeña un papel crucial en la dispersión de esporas, hongos y otros microorganismos, lo que la convierte en un catalizador para la actividad microbiana. También se la reconoce como micro ingenieros del entorno edáfico, ya que construyen galerías en el suelo, mejorando sus propiedades físicas al promover la aireación y la infiltración del agua.

2.1.9 Microfauna

El suelo es un ecosistema de gran complejidad y diversidad, siendo uno de los hábitats más ricos en biodiversidad del planeta. La biota del suelo se clasifica en tres categorías según su tamaño: macro biota, meso biota y micro biota. En la micro biota del suelo se encuentran organismos como bacterias, actinomicetos, hongos y algas, los cuales desempeñan diversas funciones, se consideran indicadores de la calidad del suelo. Por otro lado, la microfauna del suelo está compuesta por pequeños organismos como protozoarios, nematodos, rotíferos, tardígrados, colémbolos y ácaros. Los grupos desempeñan papeles importantes en la destrucción de la materia orgánica, la mineralización de nutrientes y la estructuración del suelo (Carrillo y Puente, 2022). Por lo tanto, nos dice que se ha demostrado que los nematodos, junto

con miembros de la micro fauna son herramientas eficientes para evaluar la calidad y función del suelo.

2.1.10 Hongos del suelo: importancia en ecosistemas y agricultura

Los hongos del suelo juegan un papel vital en los ecosistemas, actuando como descomponedores y facilitadores en el ciclo de nutrientes. Según Brown (2018) los hongos saprófitos descomponen materia orgánica, mientras que los hongos simbióticos, como las micorrizas, establecen relaciones beneficiosas con las raíces de las plantas. En entornos agrícolas, esta interacción es crucial para mejorar la absorción de nutrientes, lo que a su vez favorece el crecimiento de los cultivos. La clasificación de los hongos del suelo varía según su función ecológica y taxonómica, distinguiendo entre hongos patógenos, simbióticos y saprófitos, cada uno con un rol único en la salud del suelo (Rúa, 2023).

2.1.11 Micorrizas: asociaciones simbióticas

Las micorrizas son asociaciones simbióticas entre hongos y plantas, esenciales para la absorción eficiente de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno. Existen diferentes tipos de micorrizas, siendo las ectomicorrizas y endomicorrizas las más comunes. Las ectomicorrizas, por ejemplo, se asocian principalmente con árboles y contribuyen al intercambio de nutrientes entre la planta y el suelo (Carrillo y Rivera, 2021). La simbiosis resulta en un beneficio mutuo, ya que las plantas obtienen nutrientes y el hongo recibe carbohidratos esenciales para su crecimiento. Estudios han demostrado que las micorrizas también mejoran la resistencia de las plantas a condiciones adversas como la sequía.

2.1.12 Hongos filamentosos

Según Suárez (2021) los hongos filamentosos conocidos como mohos, se caracterizan por su estructura vegetativa llamada talo, similar a las plantas. Los mohos poseen filamentos microscópicos ramificados y alargados, con paredes celulares definidas compuestas principalmente de quitina. En algunos grupos de hongos, se reemplaza la quitina por otros polisacáridos como mananos y galactanos. Además de los carbohidratos, las paredes celulares de los hongos contienen proteínas, lípidos, polifosfatos e iones inorgánicos que funcionan como materia. Muchos desempeñan un papel beneficioso en el suelo al descomponer la materia orgánica compleja y convertirla en formas químicas más simples.

2.1.13 Crecimiento de hongos filamentosos

Para estudiar el crecimiento de hongos filamentosos de manera precisa, es importante analizar dos características: el crecimiento radial y el crecimiento específico en medios de cultivo. Estos parámetros son utilizados como indicadores en la investigación del desarrollo y crecimiento de hongos en cultivos de laboratorio. El crecimiento radial se refiere a la expansión del micelio en todas las direcciones desde el punto de inoculación. El crecimiento específico se utiliza para evaluar la formación real del micelio en diferentes partes del medio de cultivo, ya sea en la superficie, en la porción aérea o sumergida. Arias y Piñeros (2018) señalan que para medir de manera precisa estas características, se utilizan sustancias solidificantes diferentes al agar-agar, como el Pluronic F 127 y el Carragenano X 4910. Las sustancias encontradas han demostrado buenos resultados en investigaciones de este tipo de prueba de hongos en suelos. En particular el *Carragenano X 4910* es preferido debido a su composición física, ya que permite mantener y separar la biomasa del gel a temperaturas no destructivas para el hongo. Además, evita la presencia de residuos adicionales que podrían alterar el peso real del hongo.

2.1.14 Requerimientos nutricionales

Los hongos obtienen su nutrición absorbiendo compuestos orgánicos del medio ambiente. A diferencia de las plantas, los hongos son organismos heterótrofos, lo que significa que dependen del carbono obtenido de otros organismos para su metabolismo. A lo largo de su evolución, han desarrollado la capacidad de utilizar una amplia gama de sustratos orgánicos para su crecimiento, incluyendo compuestos simples como nitrato, amoníaco, acetato o etanol. La forma en que los hongos obtienen sus nutrientes cumple un rol esencial en sus interacciones dentro del ambiente. Muchos de ellos son expertos en degradar materia orgánica, transformando compuestos complejos y liberando elementos vitales durante este proceso.

Los componentes reaprovechados son absorbidos por otros organismos, incluidas las plantas, lo que favorece la fertilidad del sustrato. No obstante, algunos también pueden comportarse como agentes patógenos tanto en vegetales como en animales, provocando diversas afecciones. La estrategia alimenticia heterótrofa que poseen les otorga una importancia destacada en la desintegración de residuos biológicos y en la dinámica de los elementos nutritivos en los sistemas naturales. La flexibilidad metabólica y habilidad para aprovechar una gran variedad de materiales orgánicos les permite cumplir múltiples funciones en su hábitat (Heredia, 2020).

2.1.15 Métodos de aislamiento e identificación fúngica

El aislamiento e identificación de hongos presentes en el suelo es un proceso fundamental para comprender su diversidad, funciones ecológicas y potencial uso en la agricultura. Para este fin, la microbiología del suelo ha desarrollado métodos específicos que permiten separar, cultivar y caracterizar los microorganismos fúngicos a partir de muestras edáficas. Uno de los procedimientos más utilizados es el de diluciones seriadas, el cual consiste en suspender una pequeña cantidad de suelo en agua destilada estéril, realizando diluciones escalonadas para reducir la carga microbiana hasta niveles manejables en medios de cultivo (Morales y Cardon, 2018).

Una vez que las colonias fúngicas se desarrollan, se realiza la observación macroscópica, registrando características como forma, color, textura, margen y elevación de las colonias. El análisis inicial es clave para una clasificación preliminar. A continuación, se procede con la observación microscópica, la cual permite examinar estructuras reproductivas como esporas, conidios e hifas. Para ello, es común emplear la técnica de la cinta adhesiva con azul de lactofenol, que permite capturar el micelio de forma íntegra y visualizarlo al microscopio sin alterar su estructura (Morales y Cardon, 2018).

Los métodos de identificación combinan elementos fenotípicos y morfológicos, y aunque no permiten una determinación taxonómica definitiva sin análisis moleculares, resultan eficaces para estudios ecológicos, agrícolas y de biodiversidad local. Además, permiten reconocer géneros importantes como *Rhizopus*, *Fusarium*, *Aspergillus*, entre otros, los cuales tienen implicaciones agronómicas relevantes. La correcta aplicación de estas técnicas garantiza resultados confiables y replicables, siendo ampliamente validadas en investigaciones sobre microbiología de suelos (Barrios y Sandoval, 2018; Peña, 2022).

2.1.16 Importancia de los hongos en el suelo

Los hongos desempeñan un papel vital en la conservación del suelo y la salud de las plantas. Según Carrillo y Puente (2022) aproximadamente el 90-95% de la vegetación establecen relaciones simbióticas con hongos, formando estructuras llamadas micorrizas. Las asociaciones simbióticas proporcionan una serie de beneficios tanto para las plantas como para los hongos. Las micorrizas desempeñan un papel fundamental en la producción de hormonas vegetales, como la auxina, que promueven el crecimiento y la formación de raíces. También contribuyen

a la producción de clorofila, esencial para la fotosíntesis y la captura de energía solar. Además, ayudan a las especies vegetativas a tolerar mejor el estrés abiótico y biótico, como la sequía, la salinidad y las enfermedades. Los hongos micorrízicos actúan como una extensión del sistema de raíces, facilitando la captación de nutrientes como el potasio y el fósforo del suelo. A cambio los hongos obtienen el carbono y el nitrógeno necesarios para su crecimiento desde donde se hospeda. La simbiosis favorece la captura de dióxido de carbono (CO₂) del ambiente, contribuyendo así a mitigar los efectos del cambio climático.

Los hongos del suelo desempeñan un papel crucial en la fertilidad de este componente, participando activamente. La capacidad para descomponer materia orgánica y liberar nutrientes esenciales como el nitrógeno y el fósforo los convierte en agentes clave para la sostenibilidad agrícola (Carrillo y Puente, 2022). Además, la presencia de hongos micorrízicos en las raíces de las plantas mejora la absorción nutricional lo que se traduce en una mayor productividad agrícola.

2.1.17 Hongos micorrízicos

Las especies simbióticas de la especie micorrízico resultan fundamentales para impulsar prácticas agrícolas sostenibles. Los organismos fúngicos establecen una asociación mutualista con las raíces de ciertas plantas, facilitando la incorporación de elementos esenciales como el fósforo y el nitrógeno (Barrer, 2019). En sistemas agrícolas tradicionales de la región, como aquellos que incluyen maíz, papa y leguminosas, dicha relación es determinante para optimizar la producción sin recurrir al uso intensivo de insumos sintéticos. Asimismo, estas asociaciones fortalecen la capacidad de las especies vegetales para enfrentar periodos de sequía, lo cual adquiere especial importancia en territorios sujetos a variaciones climáticas.

2.1.18 Hongos saprófitos

Los hongos saprófitos, encargados de descomponer la materia orgánica, son otro grupo crucial en los agroecosistemas. A través de la descomposición de restos vegetales y otros materiales orgánicos, estos hongos contribuyen a la fertilidad del suelo, aumentando su contenido de nutrientes y mejorando su estructura. Este proceso es indispensable para mantener la salud del suelo en las chacras locales, permitiendo una agricultura más equilibrada y sostenible (Barrer, 2019).

2.1.19 Hongos patógenos

Por otro lado, se ha identificado la presencia de hongos patógenos en la región, como la especie *Fusarium*, que afecta tanto a cultivos alimenticios como ornamentales. Este desafío ha llevado a los agricultores a adoptar prácticas de manejo integrado, tales como la rotación de cultivos y el uso de biocontroladores naturales, estrategias que buscan mitigar los efectos negativos de estos patógenos en los cultivos locales (Barrer, 2019).

2.1.20 Relevancia de las especies fúngicas para la investigación

La investigación sobre la diversidad fúngica en los suelos tiene un valor incalculable, no solo para entender la ecología local, sino también para implementar estrategias agrícolas sostenibles. El estudio y caracterización de las especies de hongos micorrízicos, saprófitos y patógenos permite a los investigadores diseñar modelos de manejo agrícola que potencien tanto la biodiversidad como la productividad.

La identificación de especies con potencial biorremediador, que pueden ser utilizadas para recuperar suelos degradados, abre nuevas oportunidades para la conservación ambiental y el manejo sostenible de tierras agrícolas. Los hongos no solo mejoran la salud del suelo, sino que también juegan un papel importante en la restauración de ecosistemas dañados, lo que es fundamental en aquellos sectores donde la agricultura es la principal fuente de sustento para muchas familias.

En el marco de la agricultura regenerativa, los hongos han demostrado ser aliados valiosos. Las micorrizas, por ejemplo, son ampliamente utilizadas para mejorar la absorción de nutrientes sin la necesidad de fertilizantes químicos, contribuyendo así a la reducción del impacto ambiental de las prácticas agrícolas (Burbano, 2016). La investigación no solo contribuirá a la comprensión ecológica de los hongos, sino también a la implementación de prácticas más ecológicas y sostenibles en determinada región, promoviendo un equilibrio entre la producción agrícola y la conservación del medio ambiente.

2.1.21 Prácticas agrícolas tradicionales y su impacto en la diversidad microbiana del suelo

Las prácticas agrícolas tradicionales, como la rotación de cultivos, el uso de abonos orgánicos y el manejo sin agroquímicos, tienen un impacto positivo en la conservación de la biodiversidad microbiana del suelo. Las técnicas favorecen la actividad de hongos saprófitos y simbióticos,

esenciales para el reciclaje de nutrientes y la estructuración del suelo. Según Ardila (2019) la materia orgánica que se incorpora mediante residuos vegetales y estiércoles constituye una fuente vital de energía para los microorganismos, aumentando su biomasa y actividad enzimática. En particular, los hongos micorrízicos prosperan en sistemas agrícolas con menor intervención química, estableciendo asociaciones simbióticas que benefician tanto a las plantas como a la salud del suelo.

Además, estas prácticas tradicionales son especialmente relevantes en agroecosistemas andinos, donde la biodiversidad edáfica cumple un rol fundamental para mantener la productividad de los cultivos bajo condiciones variables. Burbano (2016) destaca que la densidad y funcionalidad de los microorganismos aumentan cuando existen aportes constantes de nutrientes naturales, lo que genera comunidades microbianas más complejas y resilientes. Por lo tanto, el manejo agrícola con enfoque ecológico no solo mejora la calidad edáfica, sino que también promueve servicios ecosistémicos como la retención de agua, la estabilidad estructural y la resistencia a enfermedades, todo ello gracias a una microbiota del suelo activa y diversa.

2.2 Marco legal

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador

La Constitución de la República del Ecuador (2008) establece un marco normativo que fomenta la protección del ambiente y el desarrollo de investigaciones científicas. En su artículo 14, reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, promoviendo investigaciones que contribuyan a la conservación y protección de los ecosistemas (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008). Esto es especialmente relevante para estudios sobre los hongos en el suelo, que desempeñan un papel crucial en la sostenibilidad de los suelos y en la promoción de prácticas agrícolas más sostenibles.

Por otro lado, el artículo 389 de la Constitución hace un llamado a la investigación científica para prevenir y mitigar riesgos naturales y antrópicos. Este enfoque en la gestión de riesgos está alineado con investigaciones sobre la biodiversidad de los hongos del suelo, que pueden influir en la resiliencia de los ecosistemas frente a desafíos ambientales como el cambio climático y la degradación del suelo. Estos estudios no solo mejoran la comprensión de los ecosistemas, sino que también aportan soluciones para la gestión sostenible de los recursos naturales.

2.2.2 Plan Nacional de Desarrollo Creación de Oportunidades

El Plan Nacional de Desarrollo (2021-2025), también conocido como el Plan Nacional de Creación de Oportunidades, refuerza estos principios al priorizar el conocimiento científico y la innovación como herramientas clave para el desarrollo sostenible del país. Este plan destaca la importancia de la investigación en la preservación de la biodiversidad y los recursos naturales, particularmente en áreas como la agricultura sostenible y la gestión de los ecosistemas (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2021).

2.2.3 Código Orgánico del Ambiente (COA)

El Código Orgánico del Ambiente (2017) en su Artículo 15, establece la obligación de promover la conservación de la biodiversidad y la sostenibilidad ambiental. Este marco normativo fomenta investigaciones que ayuden a identificar y valorar los recursos naturales, incluyendo los organismos del suelo, como los hongos, que son cruciales para los ecosistemas (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017). La relación con el tema de estudio es directa, ya que la investigación sobre hongos contribuye a la comprensión de su rol en la salud del suelo y su potencial para la agricultura sostenible.

2.2.4 Ley de Gestión de la Biodiversidad y su Acceso

La Ley de Gestión de la Biodiversidad y su Acceso (2023), establecida en el Artículo 2, enfatiza la importancia de la investigación científica en la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad (Asamblea Nacional del Ecuador, 2018). La ley establece que el acceso a los recursos genéticos debe ir acompañado de beneficios justos y equitativos, promoviendo así la investigación que genere conocimiento sobre las especies presentes en el país. Este aspecto es relevante para el estudio de los hongos en la parroquia de Angochagua, ya que permite explorar su diversidad y características, contribuyendo al conocimiento local y global sobre estos organismos.

2.2.5 Reglamento de la Ley de Gestión Ambiental

El Reglamento de la Ley de Gestión Ambiental (2015), en su Artículo 10, destaca la necesidad de realizar estudios de impacto ambiental antes de implementar proyectos que puedan afectar el medio ambiente (Ministerio del Ambiente, 2015). Esto implica que las investigaciones sobre

hongos en el suelo deben considerar su impacto y su rol en el ecosistema, lo cual es fundamental para cualquier propuesta de intervención o conservación. La normativa promueve un enfoque basado en la evidencia científica para la toma de decisiones, lo que beneficia la investigación en esta área.

2.2.6 Política Nacional de Biodiversidad

La Política Nacional de Biodiversidad de Ecuador (2019) establece principios y acciones para la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad. Esta política promueve la investigación sobre la diversidad biológica y el fortalecimiento de capacidades en las instituciones educativas y de investigación (Ministerio del Ambiente, 2019). De esta manera, relacionado con el tema de estudio, esta política apoya la investigación sobre hongos en el suelo al incentivar la recopilación de datos y la divulgación de información que fomente la conservación y el uso sostenible de los recursos biológicos.

CAPITULO III

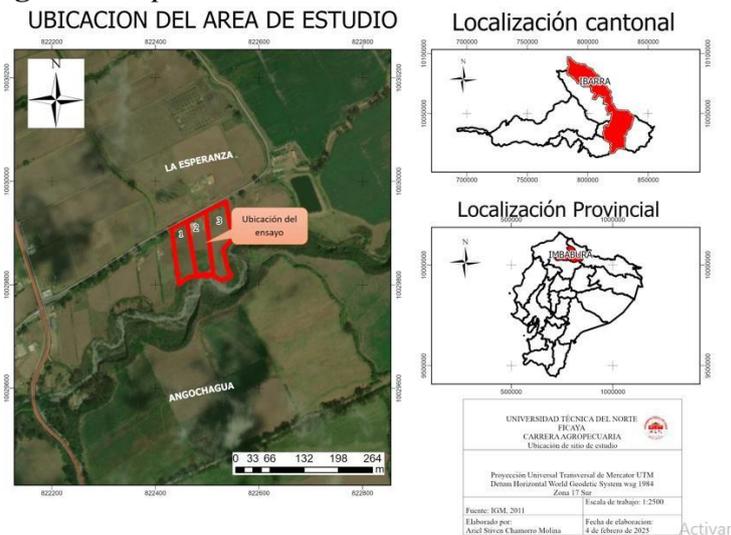
MARCO METODOLÓGICO

3.1 Caracterización del área de estudio

El área de estudio está situada en la parroquia La Esperanza, entre los 2200 y 2400 m s. n. m. en el cantón Ibarra, provincia de Imbabura, se caracteriza por un clima templado semiárido con precipitaciones estacionales. Sus suelos, predominantemente franco-arenosos o franco-limosos, presentan fertilidad moderada, favorecida en muchos casos por prácticas agrícolas tradicionales como la rotación de cultivos y el uso de abonos orgánicos. Las condiciones, sumadas a la topografía inclinada y a la acumulación de materia orgánica en la superficie, propician un entorno adecuado para el desarrollo de diversas comunidades microbianas (GAD Angochagua, 2015).

En el presente capítulo se exponen los principales hallazgos relacionados con la diversidad fúngica identificada en los agroecosistemas de la parroquia La Esperanza, se analiza la presencia de especies con funciones ecológicas relevantes, como los hongos saprófitos y simbióticos, en relación con las prácticas agrícolas sostenibles aplicadas en la zona. El entorno, caracterizado por el uso limitado de insumos químicos y la implementación de cultivos asociados, ofrece condiciones favorables para el desarrollo microbiano. A partir de los análisis realizados, se busca comprender el rol ecológico de las especies fúngicas aisladas y su contribución al equilibrio del ecosistema edáfico local. A continuación, en la figura 1 se presenta el lugar de estudio.

Figura 1 Mapa de ubicación del área de estudio



3.2 Materiales, equipos, insumos y herramientas

En la Tabla 1 se muestran los materiales e insumos utilizados:

Tabla 1 *Materiales, equipos, y herramientas*

Materiales	Equipos	Herramientas
Guantes	Microscopio	Pala
Bolsas esterilizadas	Cámara	Picota
Cajas	Computador	Palancón
Libreta de campo	Auto clave	
Botas	Estufa	
Medios de cultivo	Balanza	
Agua destilada	Refrigerador	
Placas petri		
Papel de cocina		
Frascos de cristal		

3.3 Método

La metodología aplicada en este estudio es de enfoque cualitativo, lo que permitió explorar y describir en profundidad las características y diversidad de los hongos. El enfoque fue adecuado para comprender de manera detallada los aspectos morfológicos, ecológicos y reproductivos de las especies fúngicas observadas. Para alcanzar los objetivos planteados, se emplearon varios métodos complementarios: descriptivo, documental, de campo y analítico. Cada uno de estos métodos aportó una perspectiva diferente y crucial para el desarrollo integral de la investigación, abarcando desde la recolección de datos en el campo hasta el análisis exhaustivo de los resultados.

3.3.1 Método descriptivo

El método descriptivo se emplea para observar y registrar las características de los hongos en su entorno natural, documentando variables morfológicas, ecológicas y reproductivas. Según Guevara (2020) este enfoque permite identificar y clasificar las especies fúngicas, contribuyendo a la creación de un catálogo de variedades locales y además evaluar su potencial en campos como la agricultura, medicina y conservación ecológica.

3.3.2 Método documental

El método documental implica revisar literatura científica sobre diversidad fúngica, técnicas de recolección y microbiota del suelo. De acuerdo con Peña (2022) este enfoque recopila información de fuentes secundarias, permitiendo contextualizar los resultados del estudio, compararlos con investigaciones previas y detectar vacíos de conocimiento que justifiquen nuevos estudios en la región.

3.3.3 Método de Campo

El método de campo consiste en recolectar muestras de suelo en la parroquia La Esperanza, Imbabura. Las muestras se analizan en el laboratorio, donde se cultivan para evaluar e identificar las colonias fúngicas, lo que permite estudiar la biodiversidad fúngica y su relación con los factores ecológicos locales (Campos y Lule, 2016).

3.3.4 Muestreo

Según Barrios y Sandoval (2018) el muestreo es una técnica fundamental en estudios de biodiversidad, ya que permite obtener representaciones precisas de las especies en un área determinada y comprender su distribución. En este estudio, se realizó la recolección de muestras de suelo siguiendo un patrón en zigzag desde diferentes áreas de las chakras, con el objetivo de obtener una muestra compuesta que represente la diversidad fúngica presente en esas áreas.

La recolección de submuestras se realizó con la ayuda de una pala de mano, extrayendo el suelo a una profundidad de 15 cm, ya que esta capa es la que concentra la mayor actividad biológica y la disponibilidad de materia orgánica, factores determinantes para la diversidad fúngica. En las figuras 2 y 3 se puede observar cómo se recolectaron 10 submuestras en cada chakra, que posteriormente se homogeneizaron para formar una muestra compuesta de 500 gramos, garantizando así la representatividad y consistencia de los datos obtenidos.

Las muestras fueron colocadas en fundas plásticas herméticas y rotuladas adecuadamente para su traslado al laboratorio, con el fin de preservar su integridad microbiológica. El procedimiento permitió capturar la variabilidad espacial del suelo, minimizando posibles sesgos en la evaluación de la biodiversidad microbiana, y está sustentado en investigaciones previas que validan el uso del muestreo en zigzag en estudios agroecológicos.

Figura 2

Muestreo de suelo en las chakra



Figura 3

Muestras obtenidas de cada una de la chakras en estudio



3.3.5 Diluciones seriadas: técnica para el análisis cuantitativo de hongos

Las diluciones seriadas es una técnica estándar utilizada en microbiología para determinar la concentración de hongos en una muestra de suelo. Este proceso implica la realización de diluciones escalonadas de una muestra original (Figura 4), que posteriormente se cultivan en medios selectivos para estimar la cantidad de unidades formadoras de colonias (UFC) presentes (Gómez, 2014). Esta técnica es particularmente útil cuando se busca cuantificar la abundancia fúngica en diferentes condiciones de suelo y comparar la efectividad de tratamientos agrícolas, como la aplicación de fertilizantes orgánicos o la rotación de cultivos.

Figura 2

Diluciones seriadas técnica para el análisis cuantitativo de hongos



3.3.6 Observación microscópica

La técnica de la cinta pegante es ampliamente utilizada en micología, ya que permite observar las estructuras fúngicas, como esporas e hifas, sin alterarlas, esto se debe a que las esporas y segmentos de hifas permanezcan en su disposición original, lo que facilita su estudio detallado. Para realizar la técnica, se toma una tira de cinta adhesiva de unos 4 cm de largo, con el lado pegajoso hacia afuera, y se sujeta con pinzas. Luego, se presiona firmemente sobre la superficie de la colonia fúngica que se desea examinar. Después de retirar la cinta, se coloca en un portaobjetos con una gota de azul de lactofenol para su observación bajo el microscopio óptico (Figura 5) (Morales y Cardon, 2018).

3.3.7 Variables a evaluar

La caracterización y el análisis de las colonias microbianas representan un componente esencial en el estudio de la microbiología, pues permiten evaluar parámetros cruciales para la identificación y clasificación de especies. Barrios y Sandoval (2018) menciona las siguientes variables de estudio a evaluarse:

Figura 3

Observación al microscopio óptico de las muestras de hongos aislados en las chakras



- **Crecimiento de las colonias:** es el tiempo que tarda la colonia en ocupar 2/3 partes de la placa. Se considera un crecimiento rápido si se demora entre 1 y 2 semanas, moderado entre 2 y 3 semanas y lento entre 3 y 4 semanas.
- **Formas de la colonia:** las formas pueden ser de manera circular, irregular y filamentosa.
- **Pigmentación o color:** se revisará el color en el anverso y reverso, también si el pigmento se difunde en el medio.
- **Margen:** pueden presentarse de diferentes formas enteras, lobuladas, desflecadas y rizoides.
- **Superficie:** la superficie puede ser plegada, con surcos radiados y cerebiforme.
- **Textura:** existen diferentes tipos de textura entre ellas esta las siguientes granulosa, pulverulenta, vellosa, aterciopelada y algodonosa.
- **Tamaño:** en las placas Petri se analiza si va a tener un crecimiento limitado o invasivo.
- **Elevación:** la elevación de cada macrocolonia del hongo puede ser plana, extendida, elevada, limitada y umbilicada.

- **Características microscópicas:** tipo de forma reproductiva (esporas) observando por medio del microscopio. La característica de las hifas presencia y ausencia de tabiques, grosor, hifas en raqueta, hifas en espiral.

La identificación de las diferentes posibles especies de hongos se realizó a través de un enfoque metodológico integral que combinó observaciones macroscópicas y microscópicas, aplicando criterios establecidos por Barrios y Sandoval (2018) para la caracterización de colonias microbianas. En primera instancia, se evaluaron parámetros morfológicos como el crecimiento de las colonias, clasificado como rápido, moderado o lento en función del tiempo requerido para ocupar dos tercios de la placa Petri. Adicionalmente, se analizaron la forma de la colonia (circular, irregular, filamentosa), la pigmentación del anverso y reverso, el margen (entero, desflechado, lobulado), la textura (algodonosa, vellosa, pulverulenta, entre otras), la superficie, el tamaño y la elevación, lo que permitió establecer patrones distintivos entre las especies.

Complementariamente, mediante el uso de la técnica de cinta adhesiva y la tinción con azul de lactofenol, se llevaron a cabo observaciones microscópicas que permitieron analizar estructuras reproductivas como esporas y la morfología de las hifas (presencia o ausencia de tabiques, grosor, espirales o raquetas), confirmando así la identidad de las especies aislados. Estas descripciones se documentaron en las figuras del capítulo IV, donde se observan diferencias evidentes entre especies como *Rhizopus* sp., *Fusarium* sp., *Penicillium* sp. y *Cladosporium* sp., entre otros.

Con base en este proceso sistemático de caracterización morfológica y funcional, se dio cumplimiento al tercer objetivo específico del estudio: “Analizar las funciones ecológicas de los hongos presentes en suelos de los agroecosistemas en estudio”. La evaluación de sus patrones de crecimiento, morfología y distribución en los diferentes agroecosistemas permitió inferir su rol ecológico dentro del sistema edáfico, destacando especies saprófitas como *Rhizopus* sp. con capacidad descomponedora, así como simbioses potenciales y patógenos como *Fusarium* sp. Las evidencias reflejan la relevancia de la diversidad fúngica en la dinámica del suelo y su implicación directa en la sostenibilidad agrícola local.

3.4 Manejo del experimento

3.4.1 Recolección de muestras

La investigación dio inicio con la recolección del material edáfico mediante el uso de una pala de mano (Figura 6). El procedimiento se realizó siguiendo un patrón en zigzag, extrayendo diez

submuestras por chakra que, al combinarse, conformaron una unidad representativa por sitio. Posteriormente, cada conjunto fue tamizado hasta alcanzar los 500 gramos requeridos para el análisis.

Figura 4

Recolección de muestras



Una vez recolectadas las porciones de suelo mediante el patrón en zigzag y conformada la muestra compuesta de 500 gramos por cada chakra, el material fue tamizado manualmente para eliminar residuos grandes o raíces. Posteriormente, las muestras fueron depositadas en fundas plásticas esterilizadas y herméticamente selladas, lo cual permitió conservar su integridad microbiológica y evitar contaminación cruzada durante el traslado.

Cada bolsa fue rotulada con la identificación del sitio de muestreo, protegiéndola de la exposición solar directa y de variaciones de humedad. La medida aseguró que las condiciones edáficas originales se mantuvieran relativamente estables hasta su llegada al laboratorio. El análisis se realizó dentro de las 12 horas posteriores a la recolección, minimizando así posibles alteraciones en la comunidad fúngica presente en el suelo.

3.4.2 Diluciones seriadas

Las diluciones se prepararon utilizando agua destilada estéril en tubos de ensayo, colocando en cada uno 9 ml del líquido y agregando 1 gramo de suelo, con lo cual se obtuvo la primera solución diluida. A partir de esta, se tomó 1 ml de la solución y se añadieron a otros 9 ml de agua destilada, repitiendo el proceso hasta alcanzar una dilución de 10^{-6} . Cada dilución fue sembrada en medios de cultivo (PDA y Sabouraud con cloranfenicol), realizando tres repeticiones por dilución, lo que resultó en 18 repeticiones por muestra.

En total, se realizaron 54 siembras en PDA y 54 en Sabouraud con cloranfenicol por cada muestra. Posteriormente se incubaron a una temperatura de 25 C por 7 días, luego se procedió hacer el aislamiento de cada microorganismo solo en medio de cultivo Sabouraud con cloranfenicol ya que en este medio no crecen las bacterias. El procedimiento permitió una evaluación exhaustiva de la diversidad fúngica presente en los suelos de las chakras, utilizando diferentes enfoques complementarios para obtener datos confiables y precisos sobre las especies de hongos presentes.

Para la identificación microscópica de los hongos, se aplicó la técnica de la cinta adhesiva, la cual consiste en tomar un pequeño trozo de cinta y adherirlo cuidadosamente sobre el micelio de la colonia fúngica. Posteriormente, la cinta fue colocada sobre un portaobjetos con una gota de azul de lactofenol, lo que permitió fijar y teñir las estructuras observadas. Por medio de este procedimiento, se pudieron analizar características esenciales como las hifas y esporas, facilitando la determinación del posible género de cada microorganismo. Además, para confirmar la identificación, se compararon las imágenes obtenidas en el microscopio con fotografías de referencia de morfología macroscópica y microscópica de géneros fúngicos similares descritos en la literatura.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos en el estudio de la diversidad fúngica en agroecosistemas de la parroquia La Esperanza, provincia de Imbabura. Los hallazgos destacan la relación entre las prácticas agrícolas, la biodiversidad del suelo y la ausencia de fungicidas en tres chakras estudiadas. A continuación, se describe la caracterización de cada chakra y la distribución de las especies de hongos aisladas.

4.1 Caracterización de las chakras

4.1.1 Primera chakra

La primera chakra se caracteriza por no emplear fungicidas. Presenta una cobertura vegetal mixta, con áreas cubiertas de pasto y otras dedicadas al cultivo de habas semi verde (*Vicia faba* L.), maíz morocho (*Zea mays* L. var. *Indurada*) y fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.). Además, cuenta con árboles de limón (*Citrus limon* L. Burm. f.) y una planta de sambo (*Cucurbita ficifolia* Bouché) en una esquina. Los linderos están definidos por guaba (*Inga edulis* Mart) y lechero (*Euphorbia laurifolia* Juss. ex Lam.), donde crece una planta de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss). En la Figura 7 se puede observar el entorno de la chakra 1.

Figura 7 Primera chakra



4.1.2 Segunda chakra

En la segunda chakra representada en la figura 8, no se utilizan fungicidas. En la parte posterior, se observan cerdos (*Sus scrofa domesticus* L.) y áreas donde la avena (*Avena sativa* L.) ha sido consumida por los animales. Los cultivos principales incluyen ají rocoto (*Capsicum pubescens* L.), habas semi verde (*Vicia faba* L.) y maíz morocho (*Zea mays* L. var. *indurada*), también asociado con fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.). Los linderos están delimitados por lecheros (*Euphorbia laurifolia* Juss. ex Lam.) que sustentan el crecimiento de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss).

Figura 8 Segunda chakra



4.1.3 Tercera chakra

En la tercera chakra (Figura 9), se puede evidenciar una similitud a las anteriores, esta chakra no utiliza fungicidas, destaca por la presencia de dos bovinos (*Bos taurus* L.) y dos áreas dedicadas al pasto con kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone). Los cultivos incluyen arveja quantum (*Pisum sativum* L.), maíz morocho (*Zea mays* L. var. *indurada*) asociado con fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), culantro (*Coriandrum sativum* L.) algunas plantas de mora (*Rubus ulmifolius* Schott) y tomate de árbol (*Solanum bataceum* Cav.). Los linderos están formados por lecheros (*Euphorbia laurifolia* Juss. ex Lam.) ofreciendo soporte a la biodiversidad.

Figura 9 *Tercera chakra*



4.2 Diversidad de hongos aislados

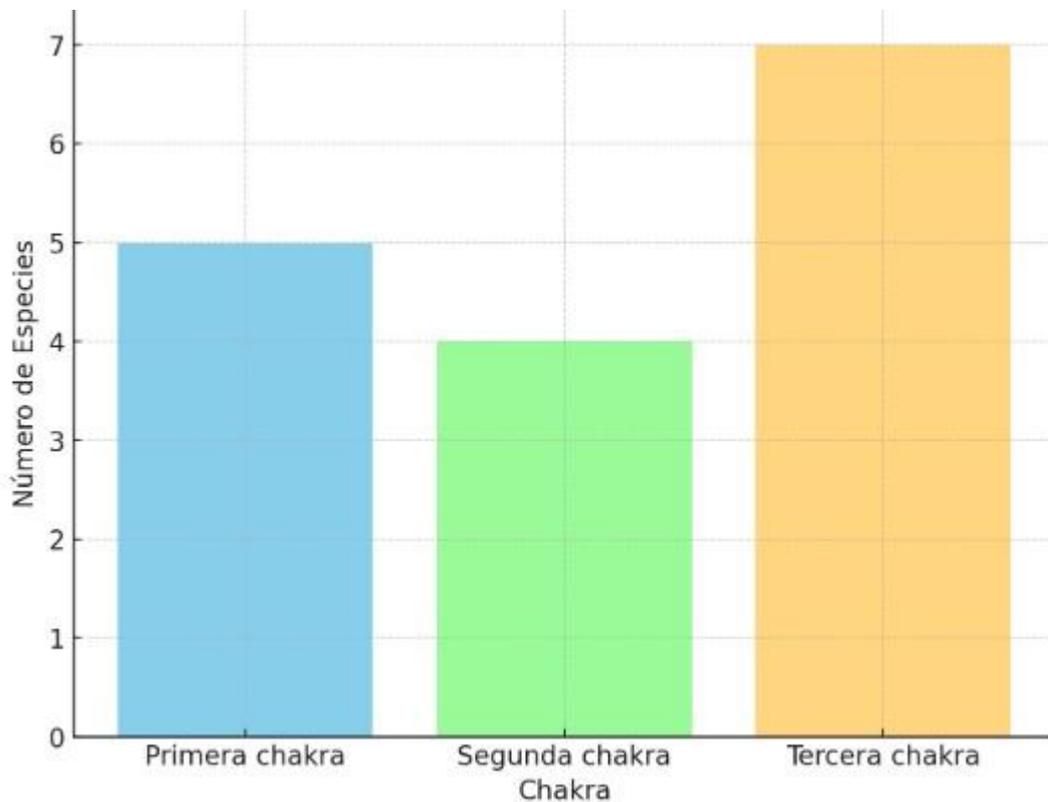
En total, se aislaron 16 posibles especies de hongos a partir de las muestras de suelo recolectadas en las tres chakras. El análisis permitió evidenciar cómo las condiciones ecológicas particulares de cada sitio influyen en la composición y riqueza fúngica del suelo, destacando la variabilidad de especies entre chakras y la relevancia de prácticas agrícolas sostenibles en la conservación de la biodiversidad microbiana. La riqueza de especies por chakras se puede observar en la figura 10.

La tercera chakra es especialmente relevante debido a que mostró la mayor riqueza de especies fúngicas. Por lo tanto, esto sugiere que sus condiciones agroecológicas y la ausencia de pesticidas promueven un entorno más favorable para la diversidad fúngica, su manejo, que incluye prácticas asociadas con el uso de cultivos diversos y la presencia de bovinos, parece generar un ecosistema equilibrado que potencia el desarrollo de especies benéficas en el suelo.

El estudio del ritmo de desarrollo de los hongos bajo diversas condiciones edáficas permite identificar elementos clave relacionados con la adaptabilidad de los taxones micológicos y su habilidad para establecerse en distintos ambientes. Por lo tanto, factores como la calidad del sustrato, la disponibilidad de elementos minerales y otros componentes ecológicos resultan determinantes en dicho proceso. En particular, los saprófitos, encargados de degradar materia orgánica, dependen de la estructura física del terreno y su capacidad de retención hídrica, lo que influye directamente en su tasa de proliferación. Según Wirth (2019), las fluctuaciones en el

crecimiento también pueden reflejar el nivel de competencia entre organismos micromicetos y otros seres vivos del ecosistema, incidiendo en la dinámica de su riqueza biológica

Figura 10 *Número de posibles especies de hongos por chakra*



En cuanto a la clasificación de la velocidad de crecimiento de los hongos en tres categorías: rápido, moderado y lento, se observa que en algunos suelos el crecimiento es rápido, mientras que, en otros, el desarrollo es más lento. Las diferencias sugieren que las especies se adaptan de manera distinta a las condiciones del suelo y al ambiente circundante. Pedraza (2020) se indica que los organismos fúngicos no solo establecen relaciones con su medio físico, sino también con otras formas de vida microscópica presentes en el sustrato, lo cual repercute en la disponibilidad de nutrientes y en el grado de competencia biológica. Asimismo, su habilidad para degradar compuestos estructurales complejos como la lignina contribuye a mejorar la calidad edáfica, generando condiciones más propicias para el desarrollo de vegetación asociada. En la tabla 2 se detallan las especies identificadas en las diferentes chakras analizadas durante el estudio.

Tabla 2*Presencia de especie de hongos en cada una de las chackra*

Especie	Presencia de hongos en las Chackras Posible		
	Chakra 1	Chakra 2	Chakra 3
<i>Rhizopus</i> sp.	X	X	X
<i>Penicillium</i> sp.	X	X	
<i>Trichophyton</i> sp.	X		
<i>Fusarium</i> sp.	X		
<i>Microsporium</i> sp.		X	X
<i>Cladosporium</i> sp.		X	X
<i>Mucor</i> sp.			X
<i>Absidia</i> sp.			X
<i>Aspergillus</i> sp.			X
<i>Trichoderma</i> sp.			X

4.3 Índice de similitud de Jaccard

Con las posibles especies encontradas en cada una de las chakras se midió el Índice de Similitud de Jaccard, que es una métrica utilizada en estudios de biodiversidad para evaluar el grado de similitud entre comunidades biológicas, en este caso, entre los hongos aislados en las diferentes chakras analizadas. El índice se calculó comparando la cantidad de especies compartidas entre dos muestras en relación con el total de especies identificadas en ambas (Tabla 3).

Tabla 3*Índice de similitud de Jaccard*

Chakras	Porcentaje
Chakra 1 y 2	33.33%
Chakra 1 y 3	10%
Chakra 2 y 3	37.50%

Los valores obtenidos indican el grado de coincidencia de especies fúngicas entre cada par de chakras:

• **Chakra 1 y Chakra 2 (33.33%)**

Existe una similitud moderada entre las comunidades fúngicas de estas dos chakras. Esto sugiere que ambas comparten algunas condiciones ecológicas similares, posiblemente debido a prácticas agrícolas semejantes o a características del suelo que favorecen la presencia de ciertos grupos de hongos. Sin embargo, el porcentaje relativamente bajo indica que aún hay una diferencia considerable en la composición de especies.

• **Chakra 1 y Chakra 3 (10%)**

La similitud entre estas dos chakras es muy baja, lo que indica que presentan comunidades fúngicas notablemente diferentes. Esto puede deberse a variaciones en los cultivos presentes, el tipo de materia orgánica disponible o incluso microclimas distintos dentro del área de estudio. Un valor del 10% sugiere que la diversidad de especies en la Chakra 3 es bastante distinta a la de la Chakra 1, lo que refuerza la idea de que ciertas condiciones del suelo pueden favorecer el desarrollo de grupos de hongos más específicos.

• **Chakra 2 y Chakra 3 (37.50%)**

El valor representa la mayor similitud encontrada entre dos chakras, aunque sigue siendo moderada. Sugiere que las condiciones ecológicas en ambas zonas permiten el desarrollo de especies en común en una proporción mayor que las otras combinaciones. Factores como el uso de técnicas agrícolas similares o la presencia de sustratos orgánicos compatibles pueden explicar este resultado.

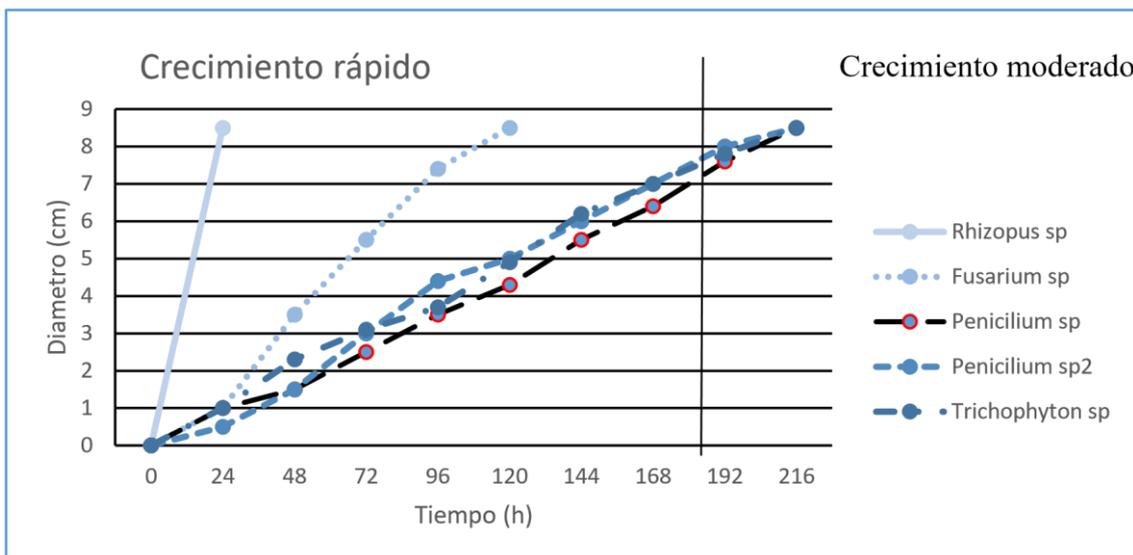
Los valores del índice de Jaccard revelan que, si bien existe cierta similitud entre las comunidades de hongos en las chakras, la variabilidad es significativa. Esto indica que las condiciones del suelo, las prácticas agrícolas y otros factores ambientales influyen directamente en la composición fúngica. Además, la baja similitud entre la Chakra 1 y la Chakra 3 sugiere que los ecosistemas agrícolas pueden tener nichos ecológicos muy específicos para los hongos del suelo, lo que resalta la importancia de estrategias de manejo diferenciadas para conservar la biodiversidad fúngica y mejorar la salud del suelo en cada caso.

4.4 Velocidad de crecimiento de colonias

En la figura 11 se puede analizar el crecimiento de los hongos aislados en la primera chakra, la cual muestra una clara distinción en la velocidad de crecimiento entre diferentes posibles especies de hongos presentes en esta área. En particular, los hongos identificados como *Rhizopus* sp. y *Fusarium* sp. exhiben un crecimiento rápido, lo que indica que las condiciones en las que estuvieron, tales como la disponibilidad de nutrientes en el medio, son especialmente favorables para estas especies, ya que los hongos se cultivaron en medios de cultivos bajo condiciones controladas.

Figura 11

Velocidad de crecimiento de los hongos de la chakra 1

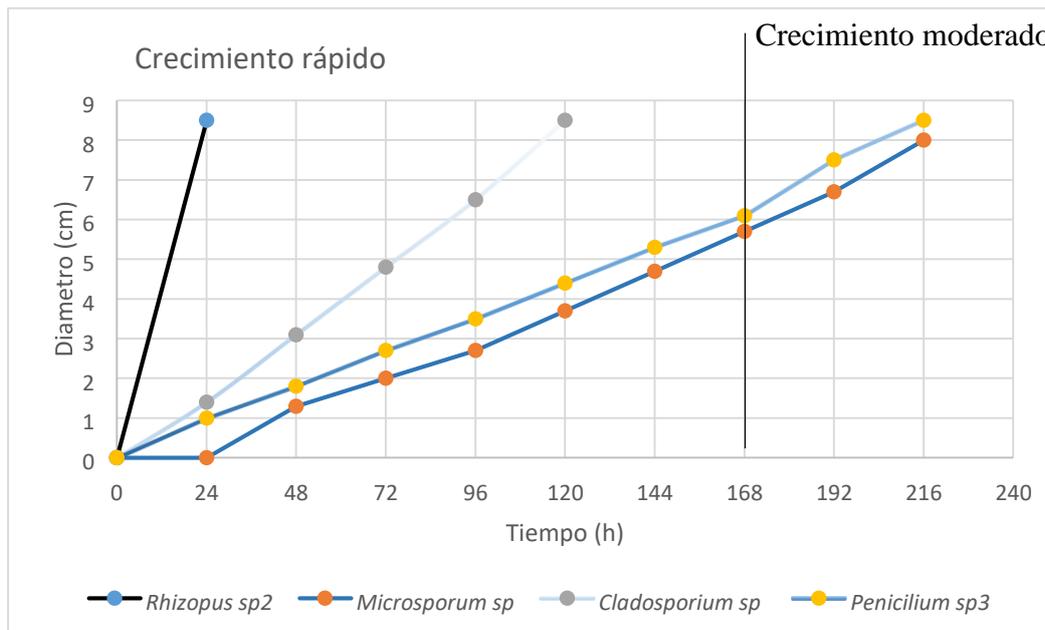


Por otro lado, los hongos restantes muestran una velocidad de crecimiento moderada, lo que sugiere que, aunque el ambiente es adecuado para su desarrollo, podría no ser óptimo para ellos en comparación con las especies de crecimiento rápido. La variabilidad en la velocidad de crecimiento puede deberse a factores específicos de cada hongo, como sus requerimientos nutricionales o su tolerancia a las condiciones del suelo y el clima local. En general, estos resultados destacan la diversidad de respuesta adaptativa entre las especies de hongos y subrayan el papel del entorno en influir en sus patrones de crecimiento en la primera chakra través de medios controlados (Gómez, 2014)

La Figura 12 se muestra el crecimiento rápido de diferentes especies de hongos en la segunda chakra a lo largo del tiempo. Se observa que *Rhizopus* sp. exhibe un incremento significativo en su desarrollo en las primeras 24 horas, lo que indica su alta capacidad de colonización y

adaptación a las condiciones del suelo. De manera similar, *Microsporium* sp., *Cladosporium* sp. y *Penicillium* sp. presentan un crecimiento constante, aunque a una velocidad ligeramente menor en comparación con *Rhizopus* sp. El comportamiento puede estar relacionado con la composición del suelo y la disponibilidad de nutrientes, factores clave en el establecimiento de la comunidad fúngica.

Figura 12 Velocidad de crecimiento de los hongos de la chakra 2

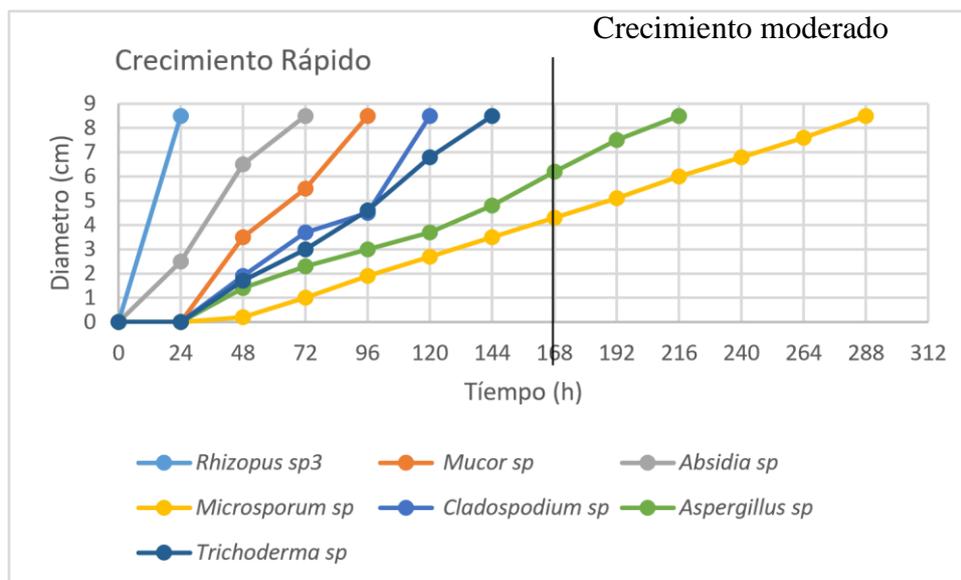


Los resultados sugieren que los hongos con una mayor tasa de crecimiento, como *Rhizopus* sp., pueden desempeñar un papel importante en la descomposición de materia orgánica y la liberación de nutrientes esenciales en el suelo. Por otro lado, el crecimiento sostenido de *Microsporium* sp., *Cladosporium* sp. y *Penicillium* sp. indica que estas especies pueden contribuir a la estabilidad del ecosistema del suelo al participar en procesos de reciclaje de nutrientes y control biológico. El comportamiento concuerda con lo señalado por Aguirre (2019) quien menciona que la velocidad de crecimiento fúngico está influenciada por la disponibilidad de materia orgánica y la competencia con otras especies. Por lo tanto, enfatiza que las interacciones entre hongos y su entorno determinan su capacidad de proliferación y su función en el equilibrio microbiológico del suelo.

La Figura 13 muestra la velocidad de crecimiento de diferentes especies fúngicas en la tercera chakra, evidenciando que ciertas especies presentan un crecimiento más rápido que otras bajo condiciones controladas. En general, los hongos *Rhizopus* sp., *Mucor* sp. y *Aspergillus* sp.

muestran una expansión acelerada en comparación con las especies de las otras especies, alcanzando un crecimiento significativo en las primeras 72 horas. Se puede definir que este comportamiento puede atribuirse a su capacidad de colonización rápida y a su eficiencia en la descomposición de materia orgánica, lo que favorece su establecimiento en ambientes ricos en nutrientes. Por otro lado, *Cladosporium* sp., *Trichoderma* sp. y *Microsporium* sp. presentan una tasa de crecimiento más gradual, lo que sugiere una mayor dependencia de factores ambientales específicos y una estrategia de desarrollo más lenta.

Figura 13 Velocidad de crecimiento de los hongos de la chakra 3



Los resultados concuerdan con los hallazgos de Pedraza (2020) quien menciona que la velocidad de crecimiento de los hongos está directamente influenciada por la composición del sustrato y las condiciones ambientales, favoreciendo a los especies con un metabolismo más eficiente en la degradación de compuestos orgánicos. Así mismo, enfatiza que la competencia microbiana y la disponibilidad de recursos determinan la dinámica de crecimiento fúngico, lo que explica la variabilidad observada entre las especies analizadas.

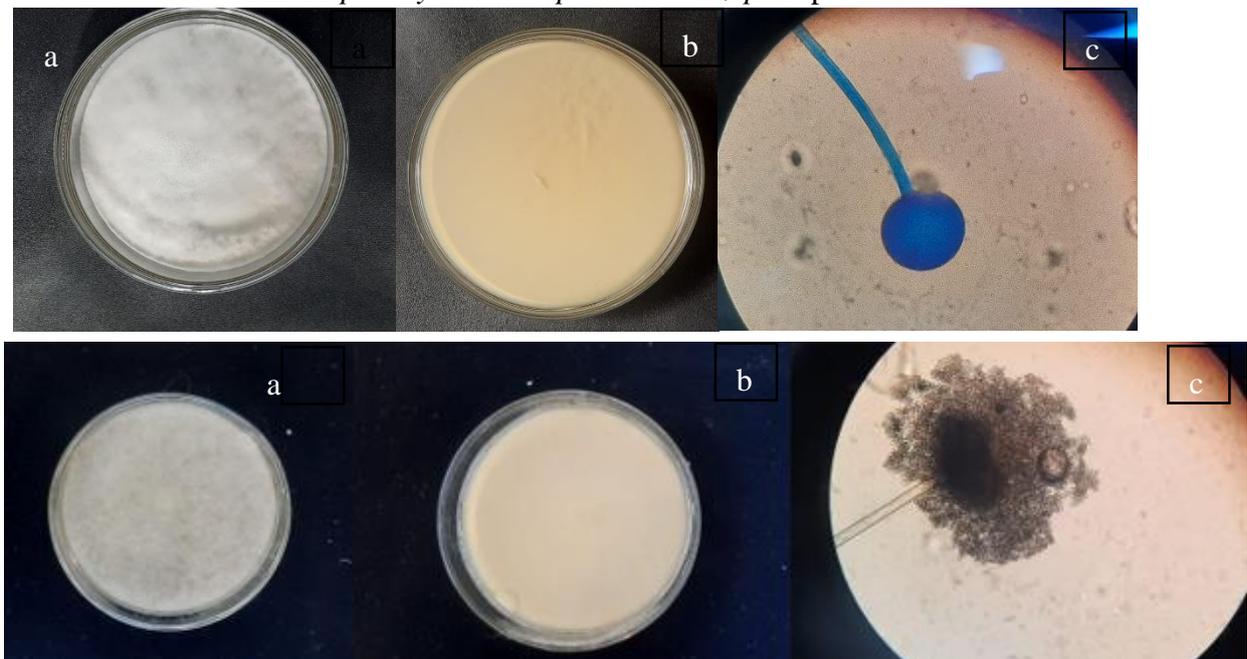
A continuación, se detallan las características específicas de cada especie (por género) encontrada en el estudio:

Rhizopus sp.

El género *Rhizopus* fue el único presente en las tres chakras, evidenciándose su alta capacidad de adaptación a distintos ambientes edáficos. Sus colonias presentan una textura vellosa y una superficie plegada, con pigmentación blanca en el anverso y crema en el reverso. Las hifas carecen de tabiques, característica típica de los hongos cenocíticos, y sus esporangios largos no ramificados facilitan su identificación (Ardila, 2019). La expansión rápida y agresiva sugiere su rol saprofítico fundamental en la descomposición de materia orgánica, así como su habilidad para colonizar suelos ricos en nutrientes, su presencia constante sugiere un papel clave en el reciclaje de nutrientes en agroecosistemas diversos y sin intervención de fungicidas (Figura 14).

Figura 14

Características macroscópicas y microscópicas de Rhizopus sp.



Nota: a. Colonia anverso, b. Colonia reverso, c. Esporangios del hongo (40x)

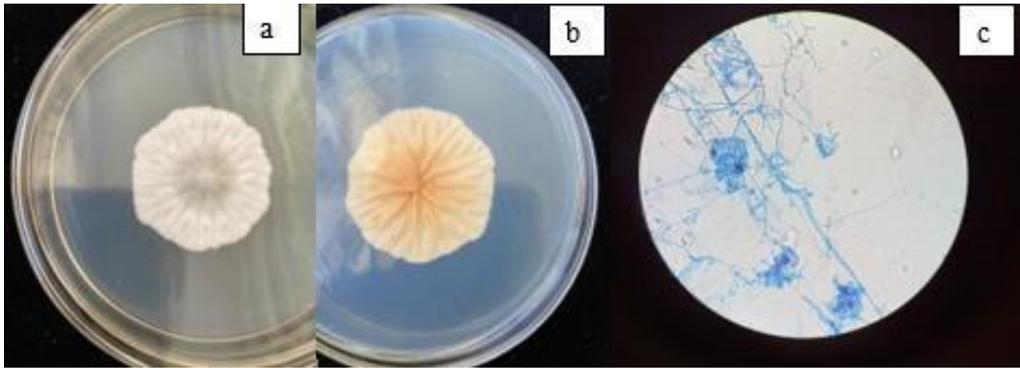
Trichophyton sp.

La especie se encontró únicamente en la chakra 1, donde mostró un crecimiento moderado, se caracteriza por su forma irregular, pigmentación anverso blanco con matices verdes y reverso naranja, con textura algodonosa y márgenes enteros. A nivel microscópico, presenta hifas septadas en espiral (Figura 15) lo que indica una adaptación eficiente a condiciones específicas

del sustrato (Rodríguez, 2019). La presencia limitada podría asociarse a nichos ecológicos específicos o a menor competitividad frente a otros hongos de crecimiento más acelerado.

Figura 15

Características macroscópicas y microscópicas de *Trichophyton* sp.



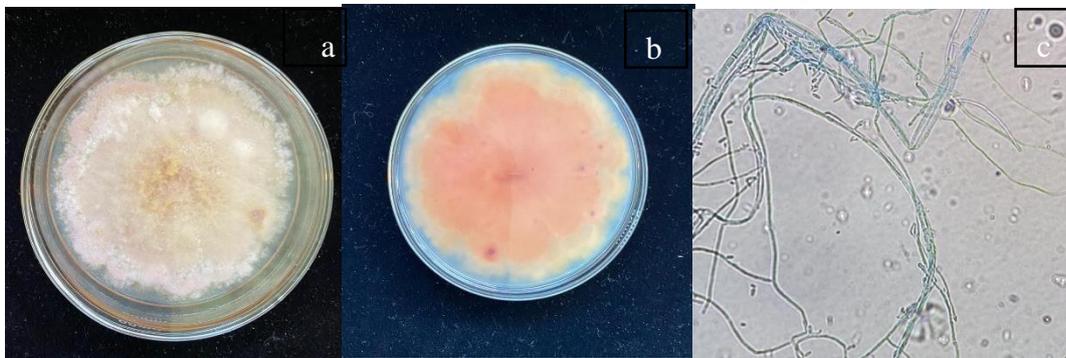
Nota: a. Colonia anverso, b. Colonia reverso, c. Esporangios del hongo (40x)

Fusarium sp.

Fusarium sp. se encuentra aislado solo en la chakra 1, esta posible especie se destaca por su crecimiento rápido y su capacidad de adaptación a suelos con alta materia orgánica. Sus características macroscópicas son las siguiente: presenta pigmentación blanca amarillenta en el anverso y rosada en el reverso, con márgenes desflecados y textura algodonosa; sus hifas son septadas en forma de cilindro (Figura 16) lo que permiten su proliferación en distintos tipos de sustratos (Rodríguez, 2024). Dado su carácter patógeno en muchas especies, su presencia puede tener implicaciones tanto para la salud del suelo como para los cultivos

Figura 16

Características macroscópicas y microscópicas de *Fusarium* sp.



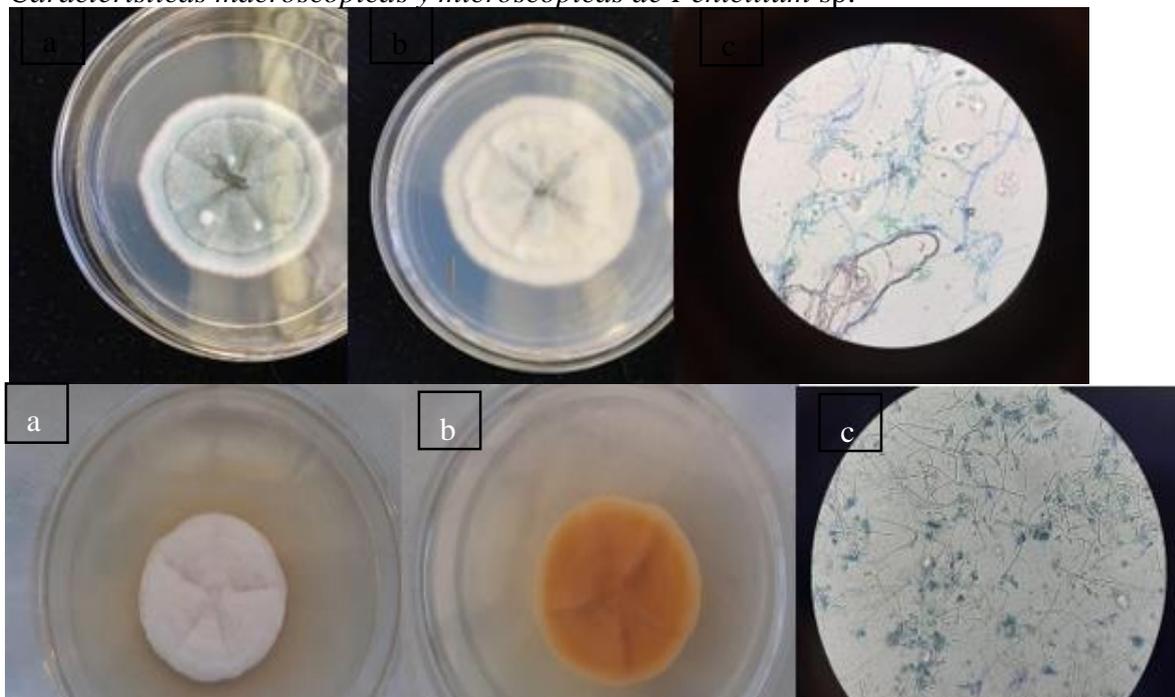
Nota: a. Colonia anverso, b. Colonia reverso, c. hifas(40x)

Penicillium sp.

Identificado en las chakras 1 y 2, *Penicillium sp.* presentó un crecimiento moderado, con pigmentaciones que variaron según la muestra: verde con blanco en el anverso y blanco en el reverso (Figura 17). Las hifas, septadas y con conidios en cadena, muestran una forma espiral que facilita la dispersión (Molar, 2023). La versatilidad en morfología y pigmentación sugiere una alta adaptabilidad a diferentes condiciones del suelo y una importante función en la transformación de compuestos orgánicos.

Figura 17

Características macroscópicas y microscópicas de Penicillium sp.



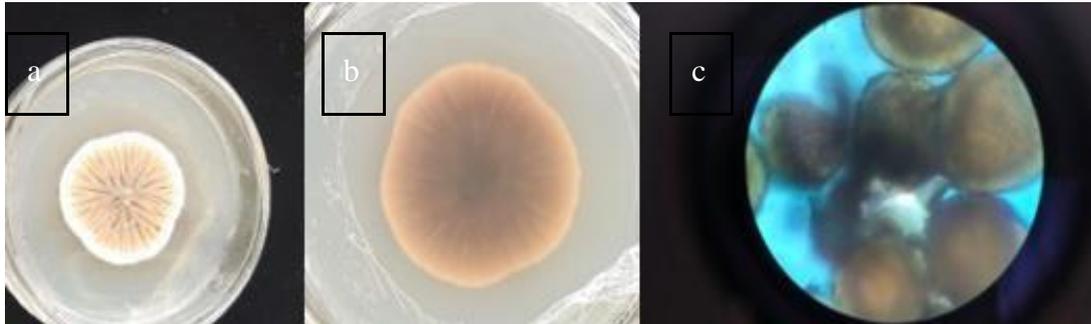
Nota: a. Colonia anverso, b. Colonia reverso, c. Esporangios del hongo (40x)

Microsporium sp.

La especie *Microsporium sp.* se encontró en las chakras 2 y 3. Las colonias muestran estructuras irregulares y pigmentación variable, desde café con blanco hasta negro con naranja (Figura 18). Las hifas septadas, en forma de raqueta y sin tabiques, son características de la especie (Guevara, 2020). La morfología sugiere que *Microsporium sp.* puede establecerse en ambientes diversos participando en procesos de descomposición, aunque su velocidad de crecimiento fue moderada participando en procesos de descomposición.

Figura 18

Características macroscópicas y microscópicas de Microsporium sp.



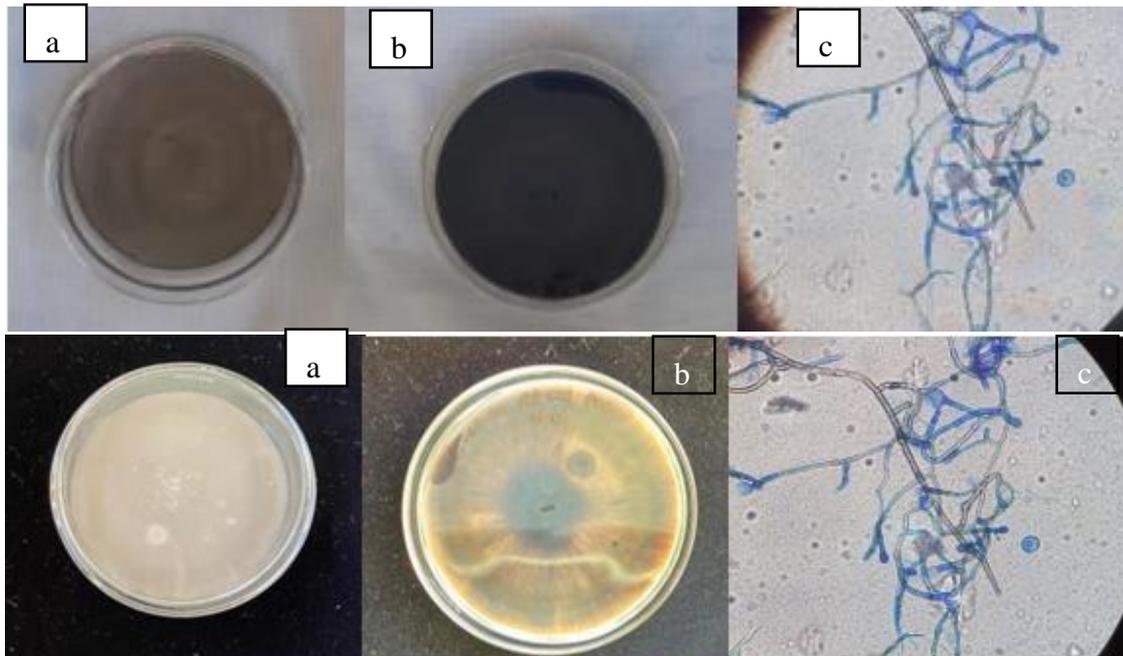
Nota: a. Colonia anverso, b. Colonia reverso, c. Esporangios del hongo (40x)

Cladosporium sp.

La especie *Cladosporium sp.* se presenta en las chakras 2 y 3, caracterizándose por su crecimiento rápido, forma circular, y pigmentación ploma en el anverso y negra en el reverso (Figura 19). Las hifas septadas con tabiques y forma de raqueta le otorgan una alta capacidad de adaptación (Pedraza, 2020). La especie destaca por su participación en la descomposición y su resistencia a condiciones ambientales variables, favoreciendo su presencia en suelos sin alteración química.

Figura 19

Características macroscópicas y microscópicas de Cladosporium sp.



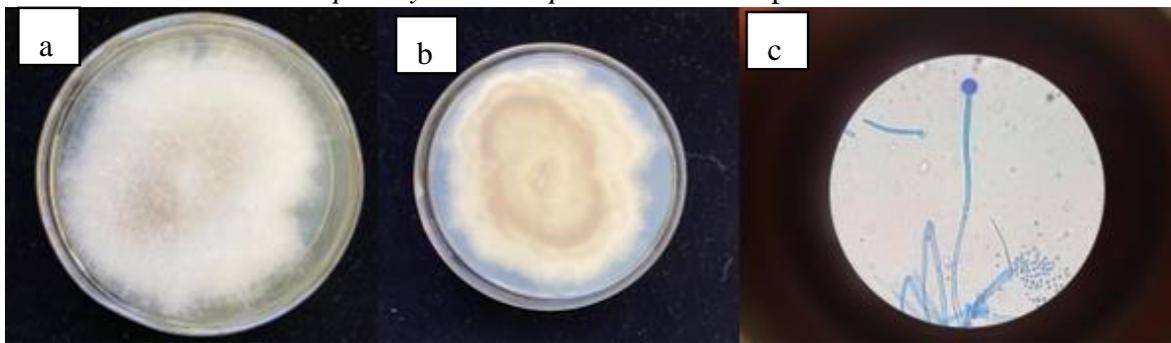
Nota: a. Colonia anverso, b. Colonia reverso, c. Esporangios del hongo (40x)

Mucor sp.

La especie *Mucor sp.* fue aislado solo en la chakra 3, presenta un crecimiento rápido, colonias filamentosas con pigmentación bicolor (blanca y negra en el anverso; café con crema en el reverso), márgenes desflecados y textura vellosa (Figura 20). Las hifas cenocíticas sin tabiques y su morfología en raqueta, permiten su rápida expansión, especialmente en suelos ricos en materia orgánica, donde cumple funciones saprofitas importantes (Gómez, 2014).

Figura 20

Características macroscópicas y microscópicas de Mucor sp.



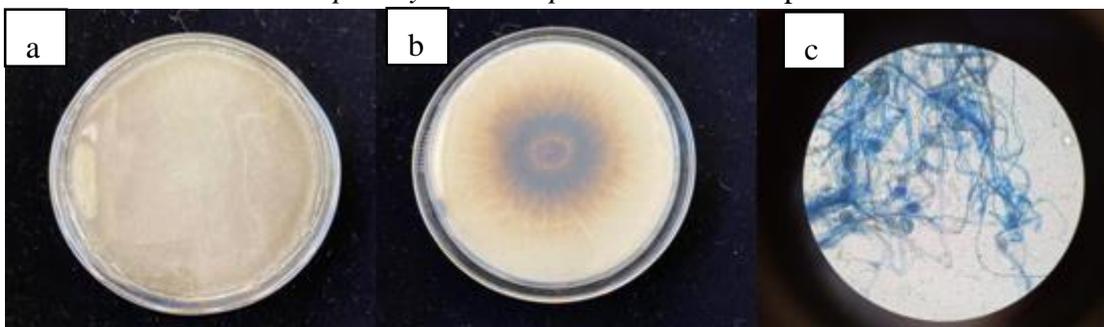
Nota: a. Colonia anverso, b. Colonia reverso, c. Esporangios del hongo (40x)

Absidia sp.

La *Absidia sp.* solo se encontró presente en la chakra 3, mostrando un crecimiento rápido y pigmentación central negra con bordes crema (Figura 21). Sus hifas cenocíticas, largas, ramificadas y sin tabiques, presentan morfología de raqueta, su presencia sugiere una elevada eficiencia en la descomposición de sustratos orgánicos, lo que refuerza su papel dentro de los ciclos de materia en sistemas edáficos bien estructurados (Beltrán et al., 2017).

Figura 21

Características macroscópicas y microscópicas de Absidia sp.



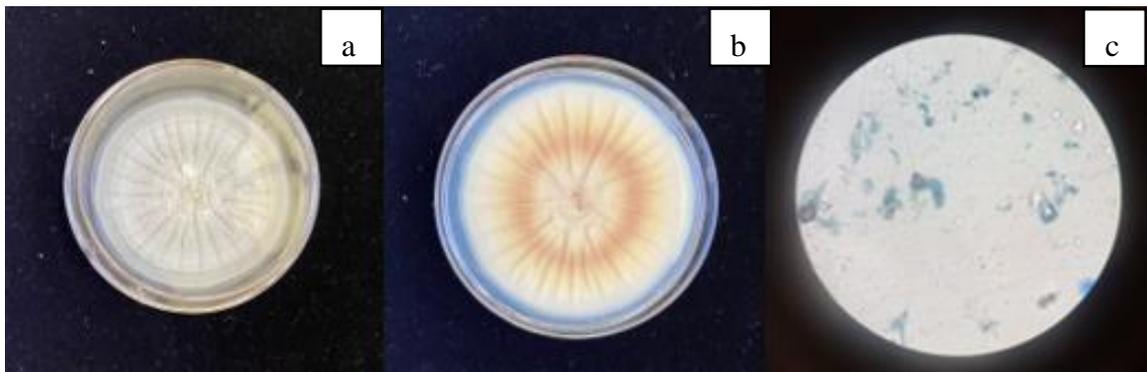
Nota: a. Colonia anverso, b. Colonia reverso, c. Esporangios del hongo (40x)

Aspergillus sp.

La especie *Aspergillus sp.* se identificó únicamente en la chakra 3, creció rápidamente en condiciones controladas. Las colonias fueron de pigmentación verde en el anverso y blancocafé en el reverso (Figura 22). Las hifas septadas, sin tabiques y en forma de espiral, indican una capacidad elevada de dispersión (Pedraza, 2020). La eficiencia de esta especie es en la colonización lo convierte en un importante descomponedor, especialmente en ambientes con abundante materia vegetal.

Figura 22

Características macroscópicas y microscópicas de Aspergillus sp.



Nota: a. Colonia anverso, b. Colonia reverso, c. Esporangios del hongo (40x)

Trichoderma sp.

La especie *Trichoderma sp.* también exclusivo de la chakra 3, presentó un crecimiento rápido, con colonias circulares de anverso verde y reverso blanco (Figura 23). Las hifas septadas sin tabiques y en forma de espiral reflejan su capacidad de dispersión (Gómez, 2014). Es reconocida por sus propiedades como agente de biocontrol y su función en la supresión de hongos patógenos, lo cual podría explicar su presencia en suelos agroecológicos manejados sin fungicidas.

Figura 23

Características macroscópicas y microscópicas de Trichoderma sp.



Nota: a. Colonia anverso, b. Colonia reverso, c. Esporangios del hongo (40x)

En el marco del estudio de la diversidad fúngica en sistemas agroecológicos, se ha recopilado información detallada sobre las funciones ecológicas y la aplicación de distintas especies fúngicas en el suelo de las chakras. La información evidencia la relevancia de estos organismos en la descomposición de materia orgánica y en el reciclaje de nutrientes esenciales, contribuyendo a la fertilidad y sostenibilidad de los cultivos. Los datos que se presentan a continuación permiten apreciar cómo cada especie cumple un rol específico en el manejo integral de los recursos del suelo. Dichos hallazgos resaltan la importancia de implementar estrategias de manejo agroecológico que aprovechen las funciones biológicas de los hongos. A continuación, se presenta la Tabla 4:

Tabla 4

Funciones en el Agroecosistemas de cada uno de los géneros de hongos encontrados

Género	Funciones Ecológicas	Aplicación en el Suelo de las Chakras
<i>Rhizopus</i>	- Descomposición de materia orgánica mediante la degradación de carbohidratos complejos como almidón y celulosa.	Actúa descomponiendo residuos vegetales en el suelo de las chakras, promoviendo la formación de materia orgánica y liberando nutrientes esenciales como nitrógeno y fósforo. Esto enriquece la calidad del suelo, favoreciendo el crecimiento de cultivos.
<i>Penicillium</i>	- Liberación de ácidos orgánicos, como el ácido cítrico, que solubilizan fósforo y otros nutrientes. - Producción de antibióticos naturales que inhiben patógenos.	Contribuye a mejorar la disponibilidad de fósforo para las plantas en las chakras y protege las raíces de los cultivos al inhibir el crecimiento de microorganismos dañinos, promoviendo un suelo más saludable y fértil.
<i>Trichophyton</i>	- Degradación de queratina en restos animales.	Aunque su presencia puede no ser directamente benéfica para las plantas, descompone restos de origen animal, como

		plumas o pelos, ayudando al reciclaje de nutrientes en el suelo de las chakras.
<i>Fusarium</i>	- Algunas especies son patógenas para plantas, causando enfermedades. - Otros miembros participan en la degradación de restos vegetales.	Este especie puede tener un impacto dual: en el suelo de las chakras, algunas especies patógenas pueden afectar cultivos como maíz o fréjol, mientras que otras especies contribuyen al reciclaje de materia orgánica, favoreciendo el ciclo de nutrientes.
<i>Microsporium</i>	- Degradación de queratina.	Aunque principalmente es conocido como dermatofito, en el suelo puede participar en la descomposición de restos animales queratinizados, como plumas, integrándose al reciclaje de materia orgánica en las chakras.
<i>Cladosporium</i>	- Tolerancia a ambientes extremos y degradación de materia orgánica. - Algunos actúan como endófitos beneficiosos para plantas.	En el contexto de las chakras, esta especie puede proteger a los cultivos mediante asociaciones simbióticas, mejorando su resistencia a estrés ambiental como la sequía. También participa en la degradación de materia orgánica, contribuyendo a la fertilidad del suelo.
<i>Aspergillus</i>	- Descomposición de materia orgánica mediante la acción de enzimas degradadoras. - Producción de compuestos bioactivos.	Contribuye a la liberación y disponibilidad de nutrientes esenciales, mejorando la estructura y calidad del suelo.
<i>Trichoderma</i>	- Producción de enzimas y compuestos biocontroladores. - Descomposición de materia orgánica.	Favorece la fertilidad del suelo y protege cultivos mediante el control biológico de patógenos, aumentando la disponibilidad de nutrientes.

<i>Mucor</i>	Rápida degradación de materia orgánica compleja gracias a su crecimiento invasivo. - Reciclaje eficiente de nutrientes.	Enriquece la materia orgánica del suelo, promoviendo su renovación y creando un sustrato propicio para el crecimiento de cultivos.
<i>Absidia</i>	- Alta capacidad para degradar diversos sustratos orgánicos. - Contribución al reciclaje de nutrientes.	Favorece el ciclo de nutrientes y mejora la disponibilidad de elementos esenciales, fortaleciendo la fertilidad del suelo en las chakras.

Fuente: Talavera y Tellez (2020)

La mayoría de las especies fúngicas presentadas en la Tabla 2, tales como *Rhizopus* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Trichoderma* sp., *Mucor* sp. y *Absidia* sp., comparten la función crucial de descomponer la materia orgánica y reciclar nutrientes esenciales en el suelo. Estos hongos, mediante la acción de enzimas degradadoras y compuestos bioactivos, liberan elementos como nitrógeno y fósforo, lo que favorece la formación de materia orgánica y mejora la estructura del suelo, aspectos fundamentales para el crecimiento de cultivos en las chakras. Además, la capacidad de degradar tanto carbohidratos complejos como restos vegetales y animales demuestra una convergencia en sus roles ecológicos, a pesar de que algunas especies, como *Fusarium* sp. y *Trichophyton* sp., pueden presentar efectos duales. En conjunto, estos organismos contribuyen de manera integral al ciclo de nutrientes y al mantenimiento de la fertilidad del suelo en sistemas agroecológicos, resaltando su importancia en la sostenibilidad agrícola (Talavera y Téllez, 2020).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La caracterización morfológica de los hongos en los suelos de los sitios de estudio, con especies como *Microsporium* sp., *Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp. y *Trichoderma* sp. destacándose por sus adaptaciones específicas en términos de pigmentación, textura y patrones de crecimiento. Los resultados indicaron que estas especies no solo exhiben una notable capacidad para colonizar distintos ambientes, sino que también presentan una variabilidad en sus características estructurales que les permite responder de manera efectiva a los diferentes sustratos y condiciones ambientales presentes en los agroecosistemas estudiados. La identificación de estructuras como los esporangios y los surcos radiados en las colonias proporciona una base para estudios futuros enfocados en explorar la adaptación morfológica y funcional de estos hongos, lo que puede ayudar a entender mejor su papel en la salud del suelo y la biodiversidad fúngica.

El análisis del índice de similitud reveló que los agroecosistemas estudiados presentaban diferencias marcadas en la composición de comunidades fúngicas. Se observó que aquellos sistemas agrícolas que implementan prácticas sostenibles, como la rotación de cultivos y el uso de fertilizantes orgánicos, compartían una mayor similitud en la presencia de hongos beneficiosos como *Cladosporium* sp. y *Trichoderma* sp. Las especies desempeñan funciones clave en la descomposición de materia orgánica, la solubilización de nutrientes, el control biológico de patógenos y el fortalecimiento de la salud del suelo. Por tanto, el índice de similitud permitió evidenciar que las prácticas agroecológicas favorecen una estructura microbiana más estable y funcional en los suelos agrícolas.

El análisis del índice de similitud reveló que los agroecosistemas estudiados presentaban diferencias marcadas en la composición de comunidades fúngicas. Se observó que aquellos sistemas agrícolas que implementan prácticas sostenibles, como la rotación de cultivos y el uso de fertilizantes orgánicos, compartían una mayor similitud en la presencia de hongos beneficiosos como *Cladosporium* sp. y *Trichoderma* sp. Las especies desempeñan funciones clave en la descomposición de materia orgánica, la solubilización de nutrientes, el control biológico de patógenos y el fortalecimiento de la salud del suelo. Por tanto, el índice de similitud

permitió evidenciar que las prácticas agroecológicas favorecen una estructura microbiana más estable y funcional en los suelos agrícolas.

El estudio sobre las funciones ecológicas de los hongos presentes en los suelos mostró que estos microorganismos cumplen roles esenciales en la descomposición de materia orgánica, solubilización de nutrientes y producción de compuestos antimicrobianos. Se destacó la capacidad de especies como *Cladosporium* sp. y *Trichoderma* sp. para adaptarse a ambientes extremos y desempeñar múltiples funciones dentro de los ecosistemas estudiados. Los resultados indicaron que estas especies son capaces de degradar queratina y otros compuestos complejos, integrándose al ciclo de nutrientes del suelo y mejorando la disponibilidad de fósforo y otros elementos esenciales para los cultivos.

5.2 RECOMENDACIONES

Para profundizar el entendimiento de las adaptaciones morfológicas de los hongos en contextos agrícolas, se recomienda realizar estudios adicionales que consideren las interacciones entre las diferentes especies fúngicas y su entorno. Es crucial establecer ensayos de campo controlados que simulen condiciones extremas de cultivo y que analicen la competencia entre especies fúngicas en suelos de diversos tipos. Este enfoque permitirá identificar prácticas de manejo agrícola que puedan fomentar la diversidad fúngica y, por ende, mejorar la salud del suelo y la sostenibilidad de los agroecosistemas. Analizar las consecuencias de estas recomendaciones permitirá determinar cómo las modificaciones en las prácticas agrícolas pueden influir en la resiliencia y capacidad de adaptación de los hongos presentes en el suelo, contribuyendo al desarrollo del conocimiento sobre la microbiota del suelo y su impacto en la biodiversidad.

Se recomienda realizar la identificación molecular de las especies fúngicas encontradas, a fin de complementar los análisis morfológicos y garantizar una clasificación taxonómica más precisa. La aproximación permitiría confirmar la identidad de las especies observados, como *Cladosporium* sp. y *Trichoderma* sp., y detectar posibles especies crípticas de relevancia ecológica o agrícola. La aplicación de técnicas de biología molecular, como la secuenciación del ADN ribosomal (ITS), contribuiría a enriquecer el conocimiento sobre la diversidad fúngica presente en los agroecosistemas y a diseñar estrategias más específicas para el manejo sostenible del suelo.

Para maximizar la diversidad fúngica en los agroecosistemas y asegurar su funcionalidad en la provisión de servicios ecosistémicos, se recomienda implementar prácticas agrícolas que

promuevan la diversidad de cultivos y el uso de compostaje. Además, se debe fomentar la educación y sensibilización entre los agricultores sobre las ventajas de las prácticas de manejo que beneficien la diversidad de hongos en el suelo. Estas estrategias no solo incrementarán la riqueza de especies fúngicas, sino que también mejorarán la resiliencia de los agroecosistemas ante desafíos ambientales como sequías y plagas. Analizar las consecuencias de estas recomendaciones permitirá establecer un vínculo claro entre el manejo agrícola sostenible y la mejora de la salud del suelo, lo que contribuirá al desarrollo de prácticas agrícolas más conscientes y respetuosas con el medio ambiente.

Para aprovechar al máximo las capacidades de los hongos en el suelo en términos de descomposición y solubilización de nutrientes, se sugiere implementar prácticas agrícolas que fomenten su diversidad y actividad biológica. Se recomienda promover el uso de biofertilizantes a base de hongos beneficiosos y desarrollar programas de manejo que incluyan la conservación de residuos orgánicos y la rotación de cultivos. Las estrategias no solo mejorarán la salud del suelo y la productividad agrícola, sino que también contribuirán al manejo sostenible de los agroecosistemas. Por lo tanto, analizar las consecuencias de estas recomendaciones permitirá determinar cómo la implementación de tecnologías y prácticas adecuadas puede optimizar las funciones ecológicas de los hongos en los suelos, facilitando así un desarrollo del conocimiento que vincule microbiología del suelo y sostenibilidad agrícola.

REFERENCIAS

- Aguirre, J. (2019). Influencia de hongos endomicorrízicos en el crecimiento . *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 16(16),45-49.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282019000100011
- Ardila, L. (2019). *Caracterización microbiológica de la calidad del aire al interior de las instalaciones del CEAD Bucaramanga de la Universidad Nacional Abierta y a distancia.*[Tesis de ingeniería, Universidad Bucaramanga].
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/27934/1098661289.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arias, E. & Piñeros, P. (2018). *Aislamiento e identificación de hongos filamentosos de muestras de suelo de los páramos de Guasca y Cruz Verde* [Tesis de pregrado,

- Pontificia Universidad Javeriana].
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8233/tesis226.pdf>
- Barrer, S. (2019). El uso de hongos micorrizicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Revista Biología*, 7(1), 124-132.
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a14.pdf>
- Barrios, M. & Sandoval, C. (2018). Caracterización de hongos presentes en suelos con usos contrastantes. *Revista Siembra*, 12(1), 2-17.
http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2477-88502025000100004&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt
- Beltrán, M. E., Rocha, Z. E., Bernal, A. A. & Pita, L. A. (2017). Microorganismos funcionales en suelos con y sin revegetalización en el municipio de Villa de Leyva, Boyacá. *Colombia Forestal*, 20(2), 158-170.
<http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v20n2/v20n2a05.pdf>
- Brown, N. (2018). Hongos benéficos para la agricultura orgánica y convencional. *Revista Frutícola Copefrut*, 40(1), 20-31.
<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/170dc856-4087-4230-b973b30fd58f56b0/content>
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos. *Revista de ciencias agrícolas*, 33(2), 117-124. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf>
- Campos, G. & Lule, N. (2016). La observación, un método para el estudio de la realidad. *Revista Xihmai*, 13(1), 45-60. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3979972.pdf>
- Carillo, M. (2017). Modelado del efecto de la temperatura, actividad de agua y pH sobre el crecimiento de *Rhizopus oryzae*. *Información tecnológica*, 18(4), 57-62. doi:ISSN 0718-0764
- Carrillo, S. & Puente, J. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta botánica mexicana*, 129(1), 1-27.
<https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1924>
- Carrillo, S. & Rivera, J. (2021). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Rev. Mexicana para la restauracion*, 12(4), 32-54.
<http://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>

- Farrera, R. (2017). Identificación de hongos asociados a enfermedades del fruto de la fresa en el municipio Jáuregui del estado Táchira. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 24(2), 123-145. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182007000200005
- Freire, D. (2022). *Estudio de la diversidad fúngica asociada a suelos agrícolas en cinco localidades de Santa Cruz- provincia de Galápagos*[Tesis de ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17215/1/13T00997.pdf>
- Gómez, H. (2014). *Manual de producción y uso de hongos entomopatógenos*. Senasa.
<https://www.senasa.gob.pe/senasa/wp-content/uploads/2017/09/Manual-de-Producci%C3%83%C2%B3n-y-Uso-de-Hongos-Entomopat%C3%83%C2%B3genos.pdf>
- Guevara, G. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas y de investigación-acción). *Recimundo*, 4(3), 163-173.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7591592.pdf>
- Hatfield, J. (2017). *Biología del suelo*. EE.UU: BA Stewart.
- Heredia, G. (2020). La importancia de los hongos (Fungi) en los servicios ecosistémicos. *Bioagrociencias*, 13(2), 143-187.
<https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/BAC/article/viewFile/3575/1534>
- Margesin, R., Siles, J., Cajthamal, T., Ohlinger, B. & Kistler, E. (2016). *Microbiology Meets Archaeology: Soil Microbial Communities*. Springer.
- Martinez, J. (2020). Caracterización cultural y morfológica e identificación de 12 aislamientos fungosos de semillas de *Leucaena leucocephala* cv. Perú. *Pastos y Forrajes*, 1-14.
- Molar, R. (2023). Identificación morfológica y molecular de *Penicillium oxalicum* causante de pudrición de tallos y frutos de tomate. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 31(1), 13-19. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/612/61230974002.pdf>
- Morales, N. & Cardon, N. (2018). Métodos de diagnóstico en micología. *Rev CES Med*, 1(132), 41-52. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6337244.pdf>
- Gómez, S., Nieto Gómez, L. & Giraldo Díaz, R. (2022). Efecto de prácticas agroecológicas en la conservación del suelo de la zona de reserva campesina de San Juan Isideo, Pradera,

- Valle del Cauca. *Entramado*, 18(2), 34-76.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-38032022000200210
- Nannipieri, A. S. (2017). *Microbiología moderna del suelo*. Elsas, JD.
- Pedraza, R. (2020). Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Corpoica. Ciencia y Tecnología*, 11(2), 155-164.
<https://www.redalyc.org/pdf/4499/449945029007.pdf>
- Peña, T. (2022). Etapas del análisis de la información documental. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 45(3), 11-34. <https://doi.org/10.17533/udea.rib.v45n3e340545>
- Rodríguez, D. (2024). Especie *Fusarium*. *Revista chilena de infectología*, 3(1), 27-64.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182014000100012>
- Rodríguez, H. (2019). Evaluación morfológica y bioquímica de aislados clínicos de *Trichophyton* spp. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 35(2), 33-39.
Obtenido de <https://ve.scielo.org/pdf/rsvm/v35n1/art07.pdf>
- Rodríguez, L. C. (2016). *Necesidad de una transición agroecológica en Cuba, perspectivas*, 39(3), 32-55.
http://www.scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942016000300001
- Rúa, Á. (2023). Taxonomía de los hongos: un rompecabezas al que le faltan muchas piezas. *Biomédica*, 43(1), 130-145.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-41572023000500288
- Soria, M. (2016). ¿Por qué son importantes los microorganismos del suelo para la agricultura? *Revista química viva*, 15(2), 3-10. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86347590002.pdf>
- Suárez, L. (2021). Identificación molecular de hongos filamentosos y su potencial biotecnológico. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(1), 34-89. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612022000100194

- Talavera, A., & Tellez, M. (2020). Hongos patógenos, especies amigables con el ambiente. *Ciencia y Tecnología*, 22, 837-845. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8083433.pdf>
- Vallejo, F., Salaza, M. y Giraldo, R. (2021). Ciudadanía Ambiental y escalamiento de la agroecología en la Zona de Reserva Campesina de San Isidro, Pradera, Valle del Cauca, Colombia. *Luna Azul*, (52), 126-144
<https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/7119/6332>
- Velázquez, M. (2018). Estrategias de Control de *Rhizopus stolonifer* Ehrenb. (Ex Fr.) Lind, Agente Causal de Pudriciones Postcosecha en Productos Agrícolas. *Revista mexicana de fitopatología*, 26(1), 23-58. doi:ISSN 0185-3309
- Wirth, A. (2019). Análisis sobre el crecimiento de hongos en diferentes revestimientos aplicados a sistemas ligeros. *Revista ingeniería de construcción*, 7(3), 97-127.
doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000100005>